

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Diagnostický a řídicí systém kompresorové stanice
The Diagnostic and Control System of a Compressor Station.

Študent:

Bc. Tomáš Krkoška

Vedúci diplomovej práce:

doc. Ing. Helebrant František, CSc.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Tomáš Krkoška

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace:

72 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma:

Diagnostický a řídicí systém kompresorové stanice
The Diagnostic and Control System of a Compresor Station

Zásady pro vypracování:

V návaznosti na téma diplomové práce proveďte.

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení diagnostického a řídicího systému v obecné rovině.
3. Návrh řešení pro konkrétní kompresorovou stanici.
4. Ověřovací diagnostické měření a jeho vyhodnocení.
5. Zhodnocení veškerých přínosů.

Další potřebná technická specifikace zadání bude provedena v průběhu zpracování.

Seznam doporučené odborné literatury:

- KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6
- KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4
- TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s. ISBN 80-901936-1-7

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. František Helebrant, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Miestoprísťažné prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.



V Ostrave 10.5. 2013

.....
podpis študenta

Prehlasujem, že

- som bol zoznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, hlavne § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školných predstavení a užitia diela školného a § 60 – školné dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola banská – Technická univerzita Ostrava má (ďalej len „VŠB -TUO“) právo na neziskové k svojej vnútornej potrebe diplomovú prácu použiť § 35 odst. 3).
- súhlasím s tým, že diplomová práca bude v elektronickej podobe uložená v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k nahliadnutiu a jeden výťahok bude uložený u vedúceho diplomovej práce. Súhlasím s tým, že údaje o kvalifikačnej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB – TUO.
- bolo zjednané, že VŠB – TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavrie licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo zjednané, že použiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB – TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB – TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do jej skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave: 10.5. 2013



.....
podpis

Meno a priezvisko autora práce:

Tomáš Krkoška

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Slovensko, Čadca u Hľuška 1385

ANOTÁCIA DIPLOMOVEJ PRÁCE

KRKOŠKA, T. *Diagnostický a riadiaci systém kompresorovej stanice: diplomová práca*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Strojnícka fakulta, Katedra výrobných strojov a konštruovania, 2013, 79 s. Vedúci práce: Helebrant, F.

Táto diplomová práca sa zaoberá aplikáciou multiparametrickej diagnostiky na skrutkových a lamelových kompresoroch spoločnosti Bochemie a.s. Úvodná teoretická časť sa venuje problematike kompresorových staníc, pracovným princípom kompresorov a aktuálnemu technickému stavu strojných zariadení. V praktickej časti bolo prevedené meranie efektívnych hodnôt vibrácií a frekvenčných spektier na vybraných bodoch kompresorov. Pre určenie fyzikálne – chemických vlastností maziva boli odobrané vzorky oleja a vyhodnotené v laboratóriu. Posledným prevedeným meraním bolo meranie termokamerou, z ktorej sme získali kompletne termogramy zariadení. Ďalšou úlohou bolo zefektívnenie výroby stlačeného vzduchu sledovaného pomerom spotreby elektrickej energie na množstve vyrobeného vzduchu. Cieľom diplomovej práce bolo zistenie chovania strojov na základe určených metód bezdemontážnej diagnostiky a zníženie nákladov na údržbu.

DIPLOMA THESIS ANNOTATION

KRKOŠKA, T. *Diagnostic and controlling system of a compressor station: Diploma Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of production machines and design, 2013, 79 s. Head of diploma thesis: Helebrant, F.

This diploma thesis deals with the application of multi-parametric diagnosis in screw and laminated compressors of Bochemie a. s. company. The introductory theoretical part is devoted to the issues of compressor stations, working principles of compressors and the current technical condition of mechanical devices. In the practical part, we gauged the efficient values of vibrations and frequency spectra of the selected points of compressors. The samples of oil which were evaluated in a laboratory were taken in order to determine the chemical characteristics of grease. The last gauging was performed by thermal camera, which provided us with complete thermal images of the devices. The next task involved the efficiency increase of the compressed air production monitored by the ratio of electric energy consumption to the amount of produced air. The aim of the diploma thesis was to discover the behaviour of machines on the basis of specified methods of non-dismantling diagnosis and the reduction of maintenance costs.

OBSAH

Úvod	9
1 Úvod do problematiky kompresorových staníc	10
1.1 Kompresorové stanice.....	10
1.2 Skladba kompresorov v kompresorovej stanici.....	10
1.3 Riadenie prevádzky kompresorovej stanice	11
1.4 Časti kompresorovej stanice	12
1.5 Projektovanie kompresorovej stanice	13
2 Pracovné princípy kompresorov a sušičiek spoločnosti Bochemie a.s.	14
2.1 Pracovný princíp skrutkových kompresorov.....	14
2.2 Pracovný princíp lamelových kompresorov.....	17
2.3 Pracovný princíp adsorpčných sušičiek vzduchu	19
3 Posledné namerané diagnostické hodnoty kompresorov	23
3.1 Technická dokumentácia kompresora SEC – 750 VARIO	24
3.2 Technická dokumentácia kompresora HV 75 Hydrovane	28
3.3 Technická dokumentácia kompresora ATMOS SE440.....	33
3.4 Meranie výkonností kompresorov.....	37
3.4.1 Popis kompresorovej stanice	37
3.4.2 Meracia metóda	38
3.4.3 Veľkosť objemu	39
3.4.4 Priebeh meraní.....	40
3.4.5 Namerané hodnoty	40
3.4.6 Vyhodnotenie.....	43
4 Riadenie výkonnosti kompresorov	45
4.1 Rozbehové odľahčenie	45
4.2 Regulácia výkonnosti kompresora	48
4.2.1 ON/OFF – Regulácia zastavením kompresora, paralelných chladiacich okruhov.....	48
4.2.2 Mechanická regulácia v kompresoroch na strane chladiwa.....	48
4.2.3 Mechanická regulácia v kompresoroch na strane kompresora	50
4.2.4 Regulácia zmenou otáčok.....	52

5	Súčasný stav analyzovaných kompresorov	56
5.1	<i>Termodiagnostika</i>	56
5.1.1	Princíp merania	56
5.1.2	Termografické meranie strojných zariadení.....	59
5.2	<i>Vibrodiagnostika.....</i>	62
5.2.1	Meracia technika	63
5.2.2	Voľba meracích bodov.....	63
5.2.3	Umiestnenie meracích bodov	63
5.2.4	Výsledky meraní	65
5.3	<i>Tribodiagnostika</i>	71
5.3.1	Odber vzoriek	71
5.3.2	Výsledky analýz	72
6	Návrh on-line systému pre kompresorovú stanicu Bochemie a.s.	74
	Záver	75
	Použitá literatúra	77
	Zoznam obrázkov	79
	Zoznam tabuliek.....	81

Zoznam použitých skratiek a symbolov

bar	Jednotka tlaku
kW	Jednotka výkonu - kiloWatt
°C	Teplota
kWh	Spotreba elektrickej energie
%hm	Hmotnostný obsah vody v percentách
mg/Kg	Miligram / kilogram
RMS	celková energie vibráci
FFT	rýchla Fourierova transformácia
ISO	medzinárodná norma
v	rýchlosť vibrácií
μm	micrometer

Úvod

Archeologické nálezy o prvom využívaní stlačeného vzduchu a teda aj o existencii kompresorov sa datuje už v tretom tisícročí pred naším letopočtom. Ďalšie svedectvá o existencii stlačeného vzduchu nájdeme v Egypte (asi 1 500 rokov pr.n.l.) V Grécku Platón a Aristoteles okolo roku 400 až 350 pr.n.l. skonštruovali prístroje pre dodávanie vzduchu potápačom. Využívanie stlačeného vzduchu by sme teda mohli sledovať už od najstarších dôb cez stredovek až k dnešku. Nejde, ale o samotné sledovanie ide o to aký odkaz nám tieto staré generácie zanechali. Preto od začiatku 40. rokov minulého storočia začala priemyselná výroba kompresorov a spôsobila revolúciu stlačovania vzduchu. V súčasnosti používame stlačený vzduch takmer vo všetkých odvetviach priemyslu či už ako pohon pneumatických motorov alebo na dopravu plynov na veľké vzdialenosti. Významné je využitie kompresorov v chladiacej technike.

V mojej práci sa venujem predovšetkým multiparametrickej diagnostike skrutkových a lamelových kompresorov spoločnosti Bochemie a.s. Na základe týchto možností diagnostiky je možné navrhnuť plán údržby, plán pripravovaných oprav a predísť tak havarijným stavom. To so sebou prináša následné zvýšenie spoľahlivosti strojného zariadenia, zníženie stavu skladovania náhradných dielov a s tým spojené náklady na minimum.

Ďalším cieľom práce bolo zefektívnenie výroby stlačeného vzduchu sledovaného pomerom spotreby elektrickej energie na množstve vyrobeného vzduchu a zníženie nákladov na údržbu prechodom od preventívnej údržby so stanovenými intervalmi (motohodiny), k údržbe podľa stavu zisteného priebežne on-line meraním kľúčových charakteristík strojov.

1 Úvod do problematiky kompresorových staníc

1.1 Kompresorové stanice

Nevýhodou zariadení závislých na doprave stlačeného plynu sú ťažkosti vyplývajúce z rozvodu tlakovej energie na jednotlivé pracoviská. Montáž vzduchového potrubia je pomerne náročná, vyžaduje dobre ukotvenie zamedzujúce jeho kmitanie, často vyvolávané pulzáciami plynu. Pri tom je nutné dosiahnuť dobré utesnenie spojov, ktoré je základnou podmienkou minimalizácie strát. Usporiadanie tlakovzdušných systémov i kompresorových staníc sa odvíjajú od technicko-ekonomických rozborov a modelovania prevádzkových situácií. [3]

- **Ústredné (centrálne) stanice** s jedným alebo niekoľkými veľkými kompresormi a s rozsiahlou potrubnou sieťou. Kompresory pracujú s dobrou účinnosťou. Nevýhodou sú značné tlakové a objemové straty, u chladiacich zariadení tiež straty tepelné.
- **Decentralizované stanice** s malými, ale plne automatizovanými kompresormi v blízkosti spotrebiča. Úspory investičných nákladov na rozsiahle rozvodné siete často prevýšia úspory vznikajúce sústredením kompresie do ústrednej stanice.

U kolísavej spotreby stlačeného plynu nie je účelné sústredovať celú výkonnosť stanice do jedného kompresoru. Až 85% straty energie vznikajúcej pri využívaní tlakovzdušnej energie môžeme rozdeliť do troch skupín:

- straty súvisiace so stlačovaním vzduchu v kompresoroch
- straty v spotrebičoch
- straty v rozvodnom potrubí [3]

1.2 Skladba kompresorov v kompresorovej stanici

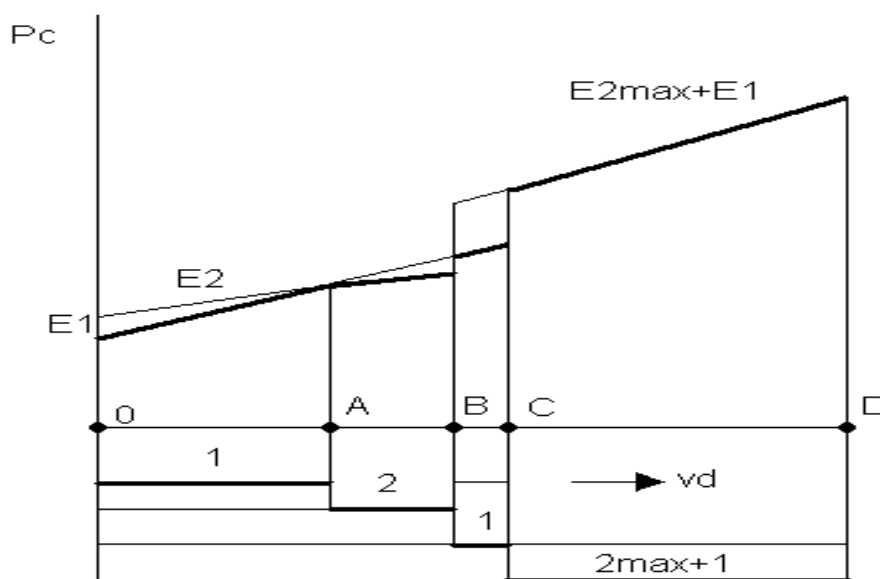
Využitie energie privádzanej k pohonu strojov v kompresorovej stanici je rozhodujúcim spôsobom ovplyvňovaný výkonnosťou, počtom a reguláciou inštalovaných jednotiek. Tradične a skôr veľmi časté usporiadanie už tomuto záveru nevyhovuje. Mnohé stanice pracujú s jedným kompresorom pre základné zaťaženie, jedným strojom zaskakujúcim a jedným kompresorom regulovateľným rovnakej výkonnosti s regulovaným počtom otáčok. Vhodnejšie je krytie základného zaťaženia dvoma kompresormi s rovnakou výkonnosťou, doplnenými jedným plynule

regulovateľným strojom špičkovým. Menšie jednotky potom kryjú aj veľmi kolísajúci odber spotrebiča. Aj keď je toto usporiadanie investičné aj priestorovo náročnejšie, dajú sa takto podstatne znížiť náklady na energiu pri chodu naprázdno. Optimálnym riešením je ovládanie kompresorovej stanice pomocou elektronického systému. Riadenie je automaticky naštartované v okamžiku, kedy základný kompresor dosiahne pevné nastavené hranice minimálneho tlaku vo výtlačnej sieti. Potom nabieha kompresor s reguláciou otáčok oscilujúci okolo maximálneho a minimálneho tlaku vo výtlačnej sieti, podľa požadovanej spotreby stlačeného vzduchu. Flexibilita takto vyprojektovanej stanice ide na úkor investičných nákladov, ale stroje sú potom využívané bez ich neekonomického chodu naprázdno. [3]

1.3 Riadenie prevádzky kompresorovej stanice

Riadenie prevádzky kompresorovej stanice ma rešpektovať zásadu, podľa ktorej sa zaťažujú ako prvé stroje s najlepšou účinnosťou a pri stúpajúcom zaťažení sa postupne pripojujú menej hospodárne agregáty. Táto úloha sa rieši pomocou energetických charakteristík, zakreslených do dispečerských diagramov. Ekonomická paralelná spolupráca dvoch kompresorov s lineárnymi charakteristikami E_1 a E_2 je zaznamenaná v diagramu 1. Pre najnižšie výkonnosti sa používa stroj č.1 s malým príkonom naprázdno a šikmejšou charakteristikou, ktorý je regulovaný v rozsahu 0 – A. V rozmedzí A – B preberá dodavku stlačeného vzduchu kompresor č.2. S rastúcou spotrebou stlačeného vzduchu je možné znovu zapojiť samostatne agregát č.1 až do maximálnej výkonnosti v prevádzkovom bode C. Zvýšené požiadavky rieši kompresorová stanica v paralelnej spolupráci maximálne zaťaženého stroja č.2 a v rozsahu C – D regulovaného kompresoru č. 1.

Priebeh energetických charakteristík u kompresorov nebýva vždy priamkový, okrem iného závisí aj na používanom druhu regulácie. [3]



Obr. 1 Dispečerský diagram kompresorovej stanice [3]

K zaistieniu bezpečnej bez obslužnej prevádzky je ďalej nutné automatické ochranné istenie pozostávajúce v blokovaní (prerušení) prívodu elektrickej energie do motoru, ak:

- poklesne tlak oleje,
- stupne teplota plynu vo výtlaku a v saní,
- poklesne tlak v saní,
- stupne tlak vo výtlaku ,
- ak sa zvýši zaťaženie elektromotoru (nadprúdová ochrana),
- chvenie strojov prekročí povolené medze. [3]

1.4 Časti kompresorovej stanice

Kompresorové stanice sa skladajú zo stavebnej, strojárskej a elektrickej časti.

- **Stavebná časť** je tvorená základmi, kanálmi, prístupovými cestami a budovou, ktorá pri vonkajšom prevedení kompresorovej stanice obsahuje len ovládacie stanovište, sociálne zariadenie a sklad. Len najmenšie kompresory sa umiestňujú priamo do továrenských alebo predajných prevádzok. Inak sa vždy inštalujú aspoň do zvláštnych miestností a veľkej kompresorovne. Strojovne pre kompresory majú byť suché, chladné, ohňovzdorné, dobre vetrané a pokiaľ možno v bezprašnom prostredí. V poslednej dobe sa s úspechom uplatňujú vonkajšie prevedenia kompresorových staníc. Dosahujú sa tým nie len približne o 50% nižšie stavebné náklady, ale hospodársky omnoho významnejšie je urýchlenie výstavby, odstránenie potreby ťažkých stavebných strojov a odpadnutie nevýbušného

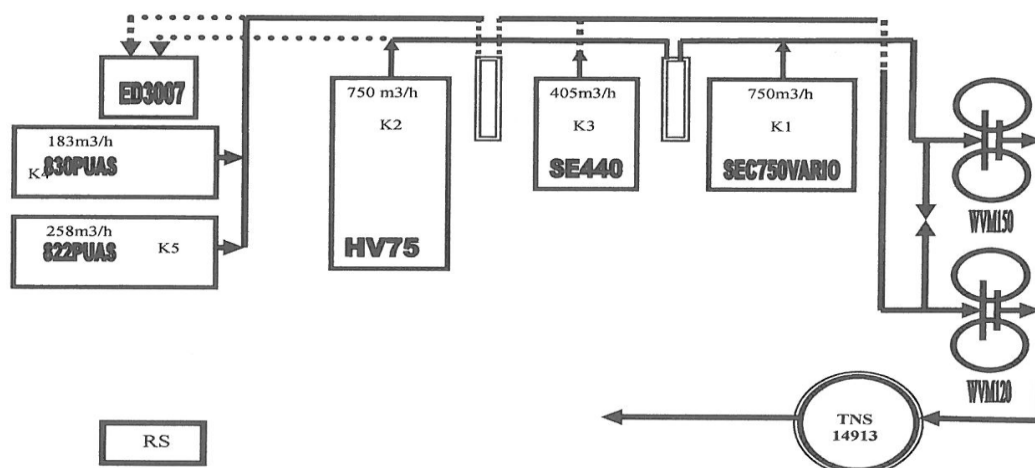
prevedenia elektrických inštalácií pri stlačovaní výbušných plynov. Ďalšou prednosťou vonkajšieho prevedenia je možnosť upustiť od inštalácie mostového žeriava, pretože je možné pracovať s automobilovým alebo portálovým žeriavom. Aby pri prechode tomuto pokrokovému spôsobu výstavby netrpena spoľahlivosť strojov a nezhoršili sa podmienky pre ich obsluhu, je treba urobiť niektoré projekčné, konštrukčné, technologické a organizačné opatrenia. [1]

- **Strojárska časť** kompresorovej stanice sa skladá z kompresora, spojky, eventuálneho prevodu, motoru (elektromotoru), filtra sacieho i výtláčného, spojovacieho potrubia, tepelných výmenníkov, odlučovačov, veterníku, plynojemu, tlmičov kmitov v potrubí, žeriavov, chladiacej veže s čerpadlom a ďalšieho príslušenstva z mazacieho čerpadla s potrebnými nádržami, potrubím a armatúrami, prístrojov a automatiky.
- **Elektrická časť** sa najčastejšie skladá z elektromotora s ovládacími prístrojmi, káblov, elektrického osvetlenia a rôznej automatiky pre kontrolu, signalizáciu a ovládanie kompresorov a ďalších častí kompresorovej stanice. [1]

1.5 Projektovanie kompresorovej stanice

Táto kapitola bola spracovaná podľa literatúry [1,2,3,16]

Pri projektovaní kompresorovej stanice je treba dobre poznať prevádzkové podmienky a to predovšetkým požiadavky na potrebnú reguláciu, tj. priebeh zaťaženia v priebehu dňa. Z hľadiska voľby najpríhodnejšieho druhu a typu kompresora je nutné poznať aj situovanie kompresorovej stanice v závode a spotrebu stlačeného plynu.



Obr. 2 Schéma kompresorovej stanice firmy Bochemie a.s. [16]

Popis strojných zariadení kompresorovej stanice

▪ skrutkový kompresor	K1-SEC750; 700 m ³ /h pri 10 bar; 75kW
▪ skrutkový kompresor	K2-SE440– 405m ³ /h pri 10 bar; 45kW
▪ rotačný lamelový kompresor	K3-HV75; 759,6 m ³ /h pri 8 bar; 75kW
▪ hydrolamelový kompresor	K4-822 PUAS – 125 m ³ /h; 22kW
▪ hydrolamelový kompresor	K5-830 PUAS – 250 m ³ /h; 30kW
▪ adsorpčná sušička vzduchu	AS1-WVM120 – 1128 m ³ /h; 16,8kW
▪ adsorpčná sušička vzduchu	AS2-WVM 150 – 1450 m ³ /h; 18kW
▪ odvádzač kondenzátu	BECOMAT 13; ED3007
▪ separátor olej/voda	ECOSEP S8

2 Pracovné princípy kompresorov a sušičiek spoločnosti Bochemie a.s.**2.1 Pracovný princíp skrutkových kompresorov**

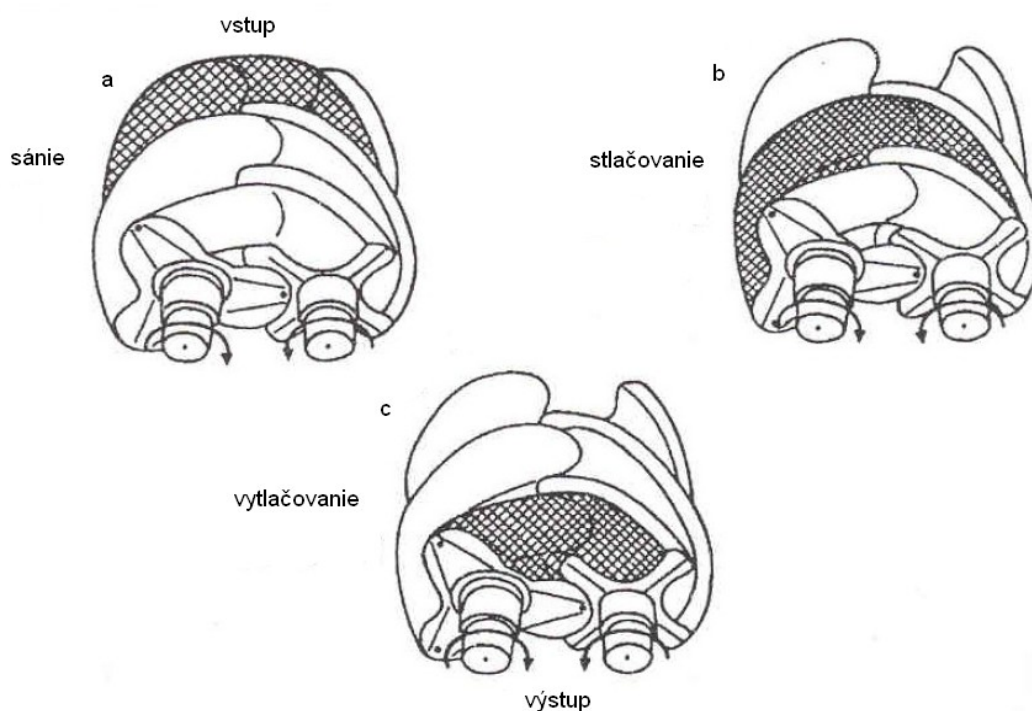
V skrini skrutkových kompresorov sú dva valcové otvory, v ktorých sa otáčajú rotory. Súčasťou skrine je sacie hrdlo so sacím priestorom a sacím otvorom, ktorý svojim tvarom obmedzuje dobu nasávania. Podobne sú vo výtlačnom hrdle usporiadané výtlačné otvory. Ďalej sú v skrini uložené ložiská a upchávkové hriadeľov, synchronizačné a prevodové súkolesie. Pracovný priestor je vytvorený komôrkami medzi zubami oboch rotorov a valcovou plochou skrine. Hlavný rotor má zuby s vypuklým, z pravidla nesymetrickým profilom, ktorý je skonštruovaný tak, aby pri rotácii vytváral nepretržitú tesniacu líniu s minimálnou pozdĺžnou aj priečnou netesnosťou. Vedľajší rotor má profil vydutý. Skrutkové kompresory sú doplnené o systémy, ktoré zaisťujú reguláciu výkonnosti, mazania, chladenia, filtrácie nasávaného plynu, tlmenia hluku, merania a stráženia stroja. [3,8,16]

Pracovný obeh: pracovný postup prebieha v troch fázach:

Sánie - do komory medzi rozbiehajúcimi sa zubami oboch rotorov na saciej strane je nasávaný plyn obr.3a.

Stlačovanie - po prerušení spojenia medzi sacím hrdlom a komorami, keď zuby prejdú cez hranu sacieho otvoru, vniká u čelnej saciej strany do pracovného priestoru následný zub spojeného rotora obr.3b.

Vytlačovanie – po spojení pracovnej komory s výtlačným hrdlom je cez výtlačný otvor vytlačovaný takmer všetok plyn z pracovného priestoru obr. 3c.



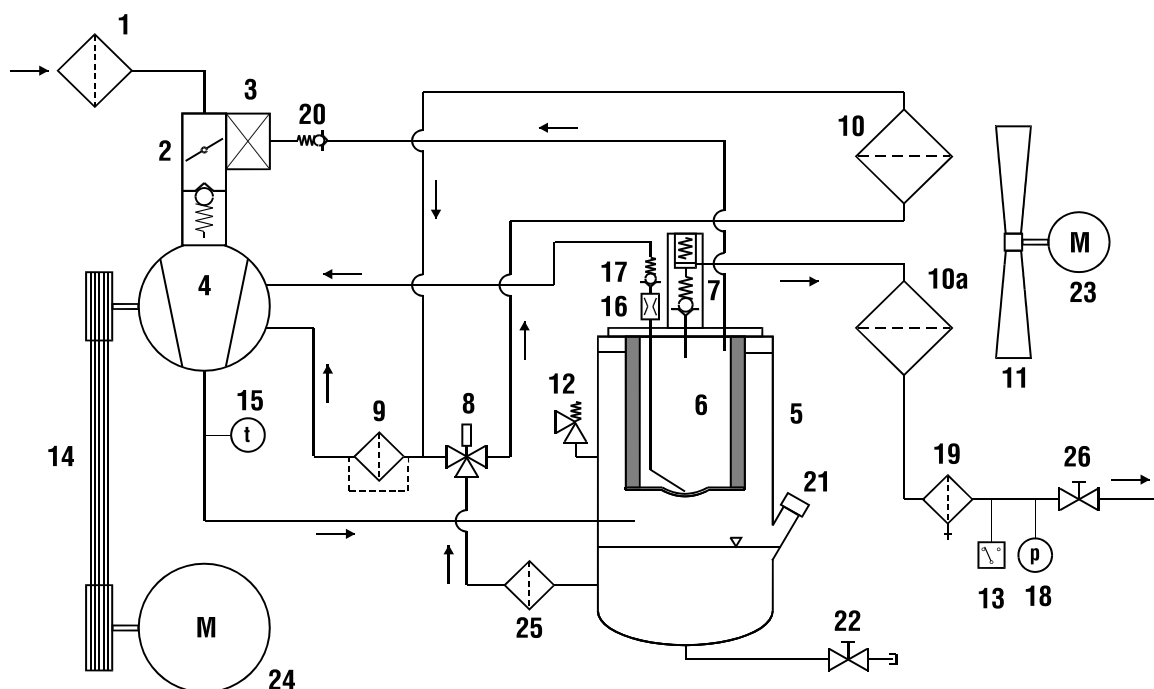
Obr. 3 Pracovný dej skrutkových kompresorov [3]
a – sáanie, b – stlačovanie, c – vytlačovanie

V koncepcii kompresorovej stanice spoločnosti Bochemie a.s. sú nainštalované skrutkové kompresory s frekvenčným meničom, ktorý zaisťuje rozbeh a zmenu otáčok hlavného elektromotora. Frekvenčný menič v spolupráci s riadiacim automatom zaisťuje plynulú zmenu výkonnosti kompresora podľa okamžitej spotreby stlačeného vzduchu. Menič je vybavený elektronickou nadprúdovou ochranou, ktorá zároveň istí hlavný elektromotor a je nastavený na určité tlakové rozmedzie kompresora. Pri nastavení kompresora na iný pracovný pretlak je nutné optimalizovať nastavenie meniča, aby sa zamedzilo jeho preťaženie.[8]

Popis funkcie skrutkového kompresoru SE440VARIO

Nasávaný vzduch je čistený vstupnom vzduchovom filtrom (1), ktorý je zaradený do sacieho potrubia kompresora. Zmenou veľkosti nasávaného množstva zaisťuje regulátor nasávania (2). Regulátor nasávania je ovládaný pneumatickou riadiacou jednotkou (3) a zaisťuje odľahčovanie a zaťažovanie kompresora podľa signálu z riadiaceho systému kompresora. Spôsob riadenia je závislý na type použitej regulácie.

Vzduch je nasávaný do pracovného priestoru skrutkového bloku (4), kde dochádza k jeho stlačovaniu. Pracovný priestor je tvorený medzerami medzi dvojicou skrutkových rotorov, uložených vo valivých ložiskách. Skrutkový blok je mazaný špeciálnym kompresorovým olejom, ktorý je pretlakom nastriekavaný do pracovného priestoru. Olej tesní zubové medzery skrutkových rotorov, maže ložiská a odvádza teplo vznikajúce pri kompresii vzduchu. Stlačená zmes vzduchu a oleja prúdi do nádoby odlučovača (5), ktorá slúži zároveň ako olejová nádrž. V nádobe odlučovača sa zo stlačenej zmesi odlúči prevažná časť oleja. Stlačený vzduch ďalej prechádza odlučovačom oleja (6), kde dôjde k odstráneniu zostatku obsahu oleja. Ventil minimálneho tlaku (7), umiestnený na výstupe z odlučovača, uzatvára výtlačné potrubie skrutkového kompresora, pokiaľ nie je vo vnútornom tlakovom okruhu kompresora dosiahnutý minimálny pracovný pretlak, potrebný pre dokonalé mazanie skrutkového bloku. Stlačený vzduch prechádza dochladzovanom (10a), kde je pred výstupom ku spotrebiči ochladený. Odlúčený olej je ochladzovaný v chladiči oleja (10) a cez hrubý filter (25) a plnoprietokový olejový filter (9) sa vracia do skrutkového bloku. Termostat (8), ktorý je zaradený v obtoku olejového chladiča, zaisťuje optimálne pracovnú teplotu kompresorového oleja.[16]

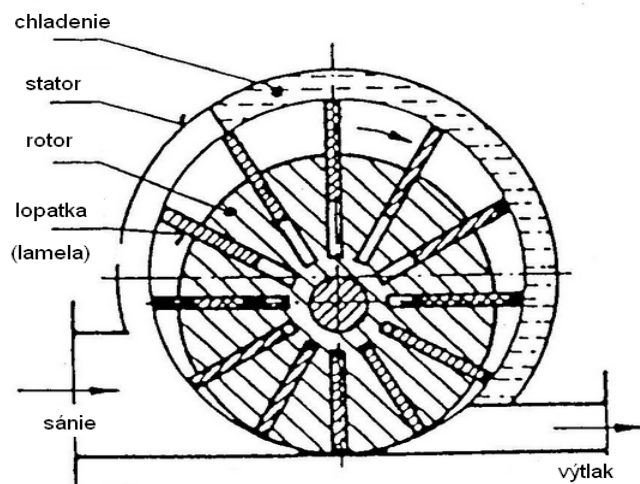


Obr. 4 Schéma skrutkového kompresoru SE440VARIO [16]

1	vzduchový filter	15	čidlo teploty
2	regulátor nasávania	16	kontrolne skličko odsávania oleja
3	riadiaca jednotka	17	spätný ventil
4	skrutkový blok	18	manometer
5	nádoba odlučovača	19	cyklónový odlučovač
6	vložka odlučovača		kondenzátu
7	ventil minimálneho tlaku	20	spomaľovací ventil
8	olejový termostat	21	nalievajúce hrdlo oleja so zátkou
9	olejový filter	22	vypúšťací ventil olejovej náplne
10	chladič oleja	23	elektromotor ventilátora
10a	ochladzovač vzduchu	24	elektromotor kompresora
11	ventilátor	25	hrubý filter
12	poistný ventil	26	výstupný ventil stlačeného
13	tlakový spínač		vzduchu
14	remeňový pohon		

2.2 Pracovný princíp lamelových kompresorov

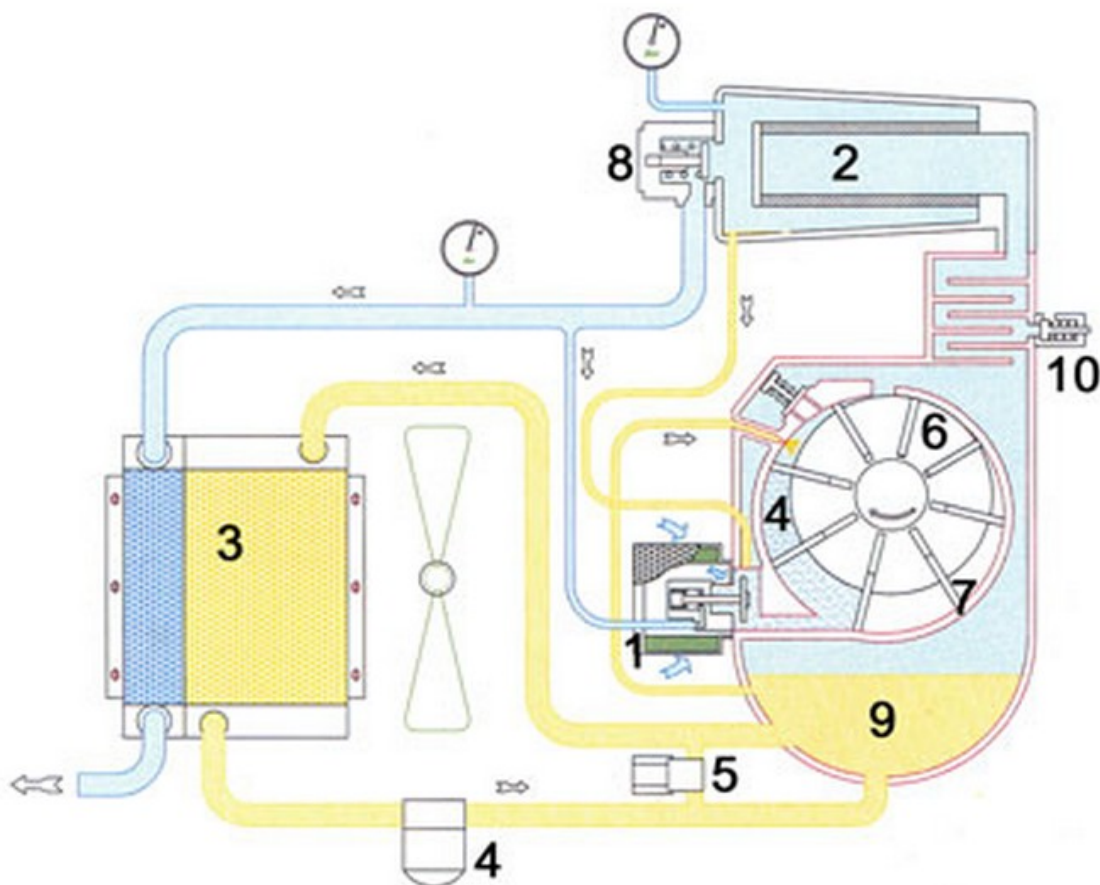
Lamelový kompresor je tvorený valcovým rotorom s hlbokými zárezmi excentricky uloženým v pracovnej komore. V zárezoch sa nachádzajú voľné posuvné uložené lamely. Pri otáčaní rotora sa lamely odstredivou silou vysunú, až sa oprú o steny pracovného valca. Pracovný priestor polmesiacovitého prierezu je jednotlivými lamelami rozdelený na komôrky, ktorých objem sa postupne zmenšuje, čím dochádza k stlačeniu plynu a jeho presunu smerom k výtláčnemu otvoru. [6,8]



Obr. 5 Princíp lamelového kompresora [6]

Popis funkcie kompresoru HV75

Srdce kompresoru tvorí jednohriadeľová, jednostupňová, viackomorová stlačovacia jednotka chladená a mazaná vstrekom oleja. Pozostáva zo statoru a rotoru (6) s vysúvajúcimi sa lamelami (7). Pretože principiálne nepôsobia na rotorový hriadeľ žiadne osové sily (na rozdiel od skrutkových kompresorov), boli použité k uloženiu hriadeľa rotora dve klzné ložiská s bielou kompozíciou pracujúce s minimálnym opotrebením. Liatinové lamely kľžu po olejovom filme pracovnej plochy statora. Dodatočným vstrekom oleja z vík statora na obe strany rotora sa vytvárajú veľmi dobré utesnené stlačovacie komory (4). Vďaka tomu tieto kompresory vykazujú veľmi vysokú účinnosť. Obeh oleja zaisťuje vnútorný pretlak stroja. Z toho dôvodu nie je použité žiadne mechanicky poháňané olejové čerpadlo. Potrebný minimálny mazací tlak zaisťuje ventil minimálneho tlaku (8). Termostatický obtokový ventil (5) pripojený k chladiči oleja dbá na rýchle dosiahnutie prevádzkovej teploty oleja. [7,16]



Obr. 6 Schéma lamelového kompresora [7]

1	sací filter	5	termostat oleja
2	separátor (odlučuje olej zo stlač. vzduchu)	6	rotor
3	spoločný chladič oleja a stlač. vzduchu	7	lamela
4	olejový filter	8	ventil minimálneho tlaku
		9	olej
		10	poisťovací ventil

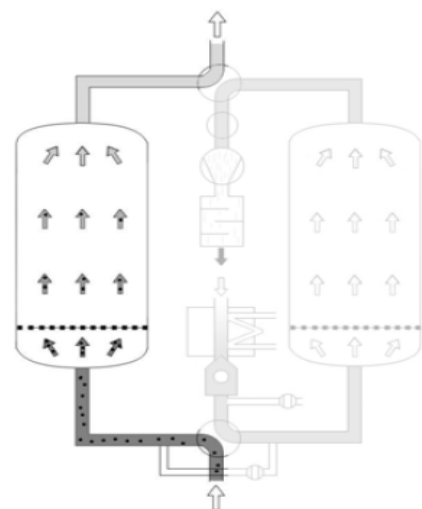
2.3 Pracovný princíp adsorpčných sušičiek vzduchu

Táto kapitola bola spracovaná podľa literatúry [16]

Súčasťou kompresorovej stanice firmy Bochemie a.s. sú aj dve adsorpčné sušičky vzduchu, ktoré sušia kompresorom dodávaný stlačený vzduch a umožňujú tak široké technické použitie. Vstupné filtre čistia tlakový vzduch od prachu, nečistôt, oleja a kvapiek vody skôr, než sa tlakový vzduch dostane do sušiča. Vstupné filtre tak slúžia aj pre predlžovanie životnosti sušiacej náplne. Vstupné filtre čistia tlakový vzduch od častíc sušiacej náplne skôr, než sa privedie do rozvodu tlakového vzduchu. Obe nádoby sušiča obsahujú sušiacu náplň s mimoriadne vysokou poréznosťou, ich prostredníctvom sa vlhkosť zo stlačeného vzduchu odstraňuje a prechádza do nej ako do poréznej huby. Vlhkosť sa potom zo sušiacej náplne opäť vytesňuje a odvádza do okolitého prostredia. Pre tento účel sa v oboch nádobách striedajú dva prevádzkové režimy. Zatiaľ čo v prvej nádobe sa stlačený vzduch adsorpcii na sušiacej náplni odvlhčuje, v druhej nádobe sa vlhká náplň regeneruje pre ďalšie opakovanie sušiaceho cyklu. Tieto dva prevádzkové režimy, ktoré v celej jednotke úpravy stlačeného vzduchu bežia paralelne pracujú nasledovne.

Adsorpcia

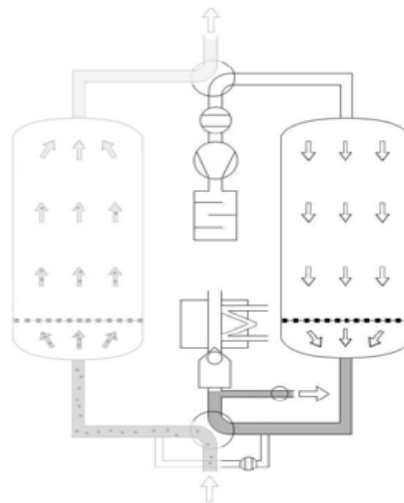
Vlhký tlakový vzduch je kompresorom privádzaný do vstupného filtra. Odtiaľ prechádza tlakový vzduch adsorbujúcou nádobou, ktorá je pod tlakom, od zhora dole. Sušiacu náplň pritom vzduchu odoberá vlhkosť. Suchý tlakový vzduch je cez výstupný filter privádzaný do potrubia rozvodu.



v ľavej nádobe prebieha adsorpcia

Regenerácia (prebieha paralelne s adsorpciou)

Súčasne s procesom popísaným v predchádzajúcom odstavci sa druhá nádoba pripravuje pre opakované zachycovanie vlhkosti zo stlačeného vzduchu. Tento proces prípravy sa nazýva regenerácia. Regenerácia sa ďalej delí na tri fázy: odtlakovanie, odvlhčovanie a opätovné tlakovanie. Ak je použitý voliteľný prvok riadenia v závislosti na rosnom bode, bude po regeneračnej fáze nasledovať pohotovostná fáza.



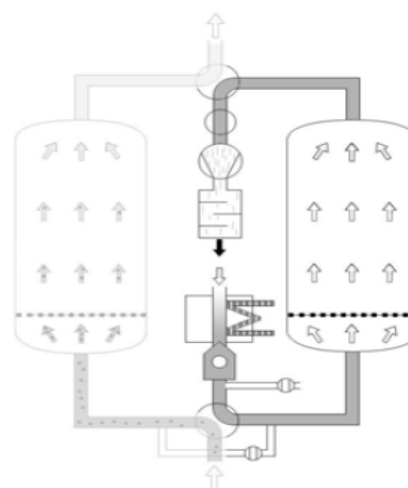
v pravej nádobe prebieha regenerácia

Fáza odtlakovania

V priebehu fázy odtlakovania sa tlak v pravej nádobe zruší postupnou expanziou stlačeného vzduchu cez tlmič hluku až na tlak okolitého prostredia. Výstupný prúd expandovaného vzduchu sa prejaví náhlym intenzívnym hlukom na tomto tlmiči.

Fáza ohrevu

Výveva nasáva vzduch z okolitého prostredia, ktorý prúdi cez ohrievač a regenerovanou nádobou. V ohrievači sa vzduch ohrieva. Ohriaty vzduch prúdi cez vlhku sušiacu náplň, pri čom dochádza k desorpcii vody viazanej v sušiči náplni a k vynášaniu vlhkosti vo forme vodnej pary, ktorá odchádza potrubím do okolitého priestoru spolu s výstupným vzduchom.



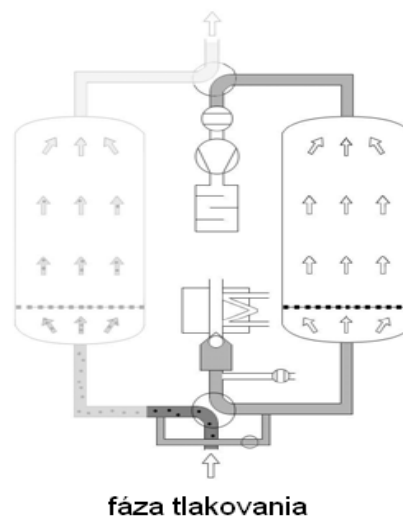
fáza ohrevu

Fáza tlakovania

Po ukončení fáze ochladzovania sa tlak v práve zregenerovanej nádobe postupne zvyšuje až na tlak prevádzkový, takže potom môže dojsť k prepnutiu z regenerácie na adsorpciu za prevádzkového tlaku bez tlakového rázu.

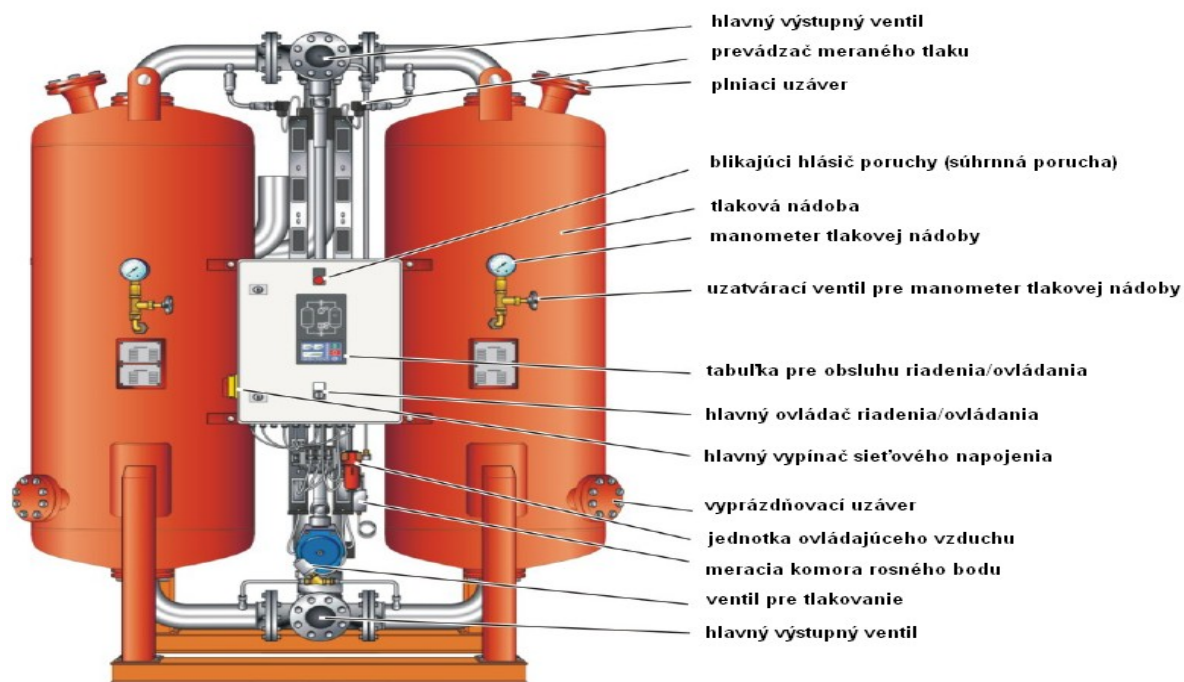
Fáza pohotovostná

V pohotovostnej fáze čaká práve zregenerovaná nádoba v pokoji na prepnutie prúdenia – do novej fáze sušenia.

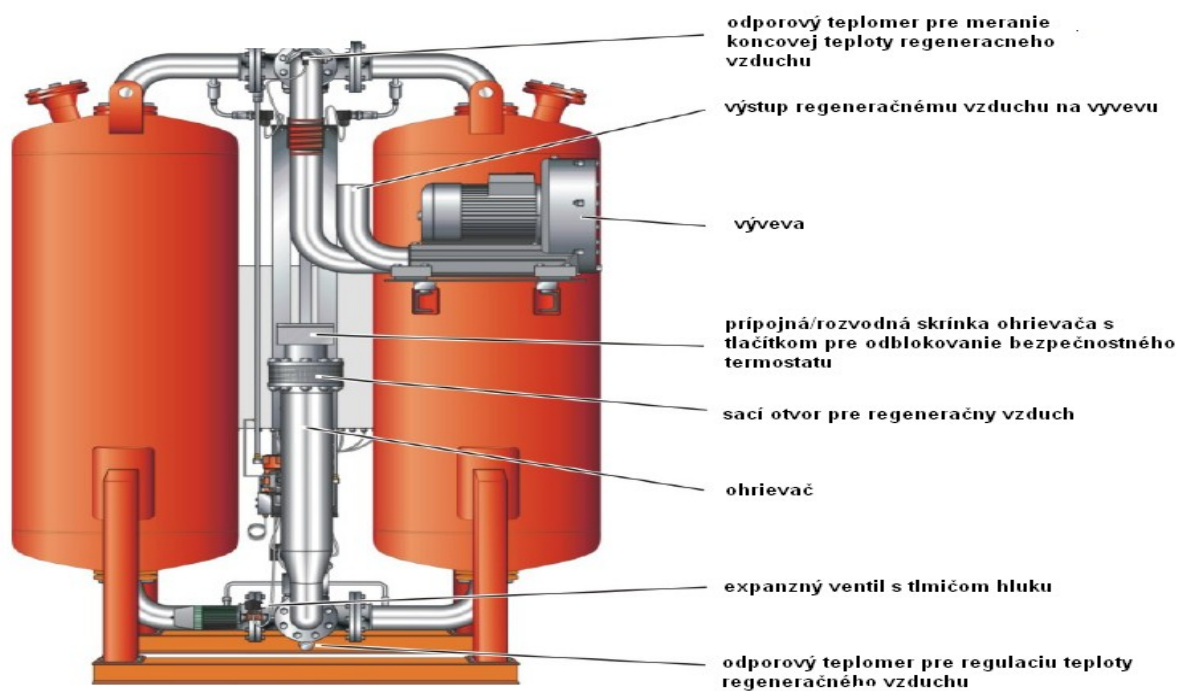
**Prepnutie**

Ako náhle sušiacia náplň vo fázy adsorpcie dosiahne určitú úroveň zachytenej vlhkosti, musí sa smer prúdenia v oboch nádobách prepnúť, pretože ďalšie sušenie na tejto náplni by rýchlo strácalo účinnosť. Po prepnutí sa vyššie popísaný proces opakuje s tým rozdielom, že si obe nádoby vymenia svoje úlohy. Pri riadení prevádzky v závislosti na dosiahnutom rosnom bode sa dá sušič prevádzkovať v pevnom alebo v premenlivom cykle. V pevnom cykle sa prevedie prepnutie po uplynutí pevne nastaveného času (spravidla po 6 hodinách). To znamená, že aj ohrievač spotrebovávajú energiu v pevnom cykle. V premenlivom cykle sa prevedie prepnutie v závislosti na zaťažení sušiacej náplne, ktorá odpovedá rosnému bodu vzduchu pri tlaku meranom na výstupe zo sušiča. Premennivý cyklus sa môže predlžovať až na 12 hodín, vo výnimočných prípadoch až na 24 hodín. Ohrievač potom spotrebovávajú energiu len, keď je to nutné.[16]

Adsorpčné sušičky typu WVM spoločnosti Bochemie a.s.



Obr. 7 Technický popis adsorpčnej sušičky – pohľad spredu [16]



Obr. 8 Technický popis adsorpčnej sušičky – pohľad zozadu [16]

3 Posledné namerané diagnostické hodnoty kompresorov

Táto kapitola bolo prevzatá a spracovaná zo záznamov výsledkov meraní spoločnosti Bocehemie a.s. [16]

Posledné merania na vytipovaných kompresoroch previedla spoločnosť zaoberajúca sa odbornou starostlivosťou a technickou diagnostikou strojných zariadení. Cieľom merania bolo zistiť celkové vibrácie strojných zariadení:

- skrutkového kompresora **SEC - 750 VARIO**
- lamelového kompresora **HV 75 Hydrovane**
- skutkového kompresora **ATMOS SE440**

Frekvenčnou analýzou nameraného signálu sa dá získať tzv. frekvenčné spektrum, čo je závislosť amplitúdy meranej veličiny frekvencii. Z tohto frekvenčného spektra sú potom zjavné tie frekvencie jednoduchých kmitavých pohybov, ktoré majú na výsledný zložený priebeh najväčší vplyv. Transformáciou časového signálu na frekvenčné spektrum sa dá previesť pomocou:

- Pásmovej analýzy, kedy je signál filtrovaný radou frekvenčných priepustí o určitej šírke pásma.
- Rýchlou Fourierovou transformáciou (FFT – Fast Fourier Transformation), kedy je zo vzorky časového priebehu určitým algoritmom vypočítané frekvenčné spektrum. Frekvenčné spektrum je základným zdrojom o technickom stave stroja a je schopná podať hlbšie informácie o vibračnom správaní zariadenia.

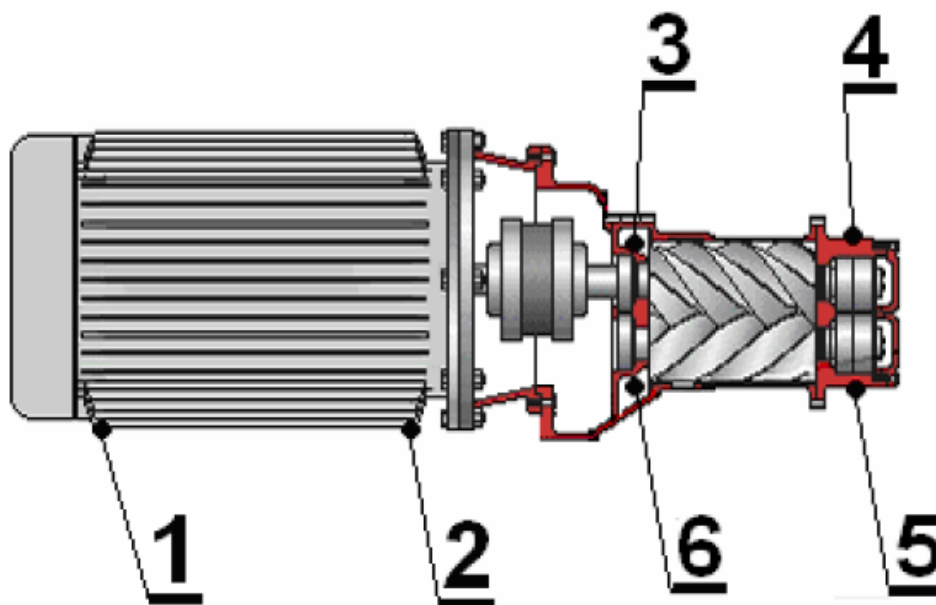
Frekvenčná analýza umožňuje presnú identifikáciu jednotlivých príčin kmitania. Pri tejto analýze sa zmes kmitov daného objektu rozkladá na jednotlivé zložky podľa kmitočtu. Frekvenčná analýza vibračných signálov pomocou FFT je základná a najbežnejšia analytická metóda, ktorá v priebehu vibračného signálu hľadá periodické deje, ktoré potom v danom súradnicovom systéme zobrazí. [10]

3.1 Technická dokumentácia kompresora SEC – 750 VARIO

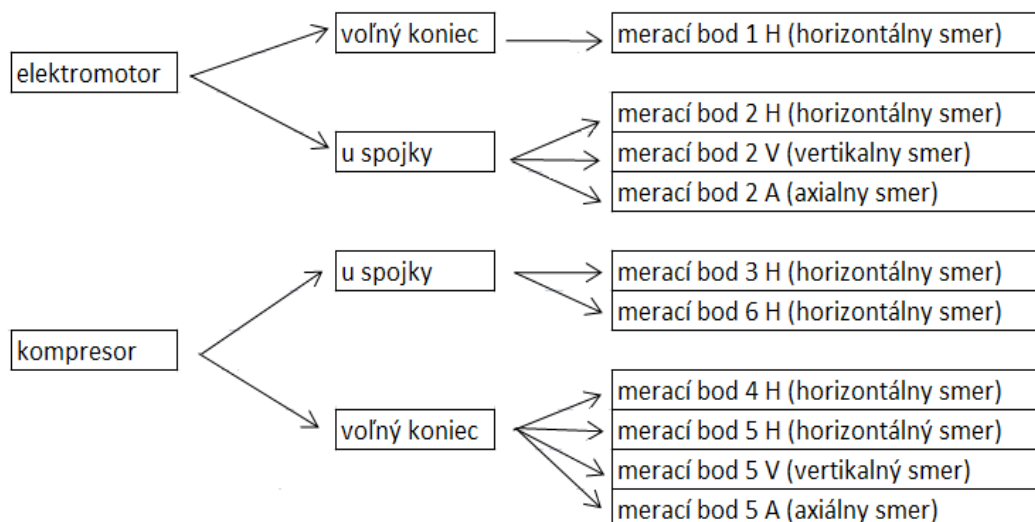
Základné technické dáta potrebné pre analýzu spektier FFT boli zaistené priamo na mieste z meraní, odčítané zo štítkov alebo z priloženej dokumentácie.

Tab.1 Parametre skrutkového kompresora SEC -750 VARIO [16]

výkon	77,2 kW
max. tlak	10 bar
výrobné číslo kompresora	83823
hodiny celkom	33 978
hodiny pod záťažou	33 432
pohon- elektromotor otáčky	max. 3 300min ⁻¹ = 55 Hz
ložisko elektromotora voľný koniec	merací bod 1
ložisko elektromotora remenice	merací bod 2
Kompresor - otáčky	max. 3 300min ⁻¹ = 55 Hz
ložisko hnacej skrutky u spojky	merací bod 3
ložisko hnacej skrutky voľný koniec	merací bod 4
ložisko hnanej skrutky voľný koniec	merací bod 5
ložisko hnanej skrutky u spojky	merací bod 6



Obr. 9 Schéma kompresora SEC -750 VARIO [16]

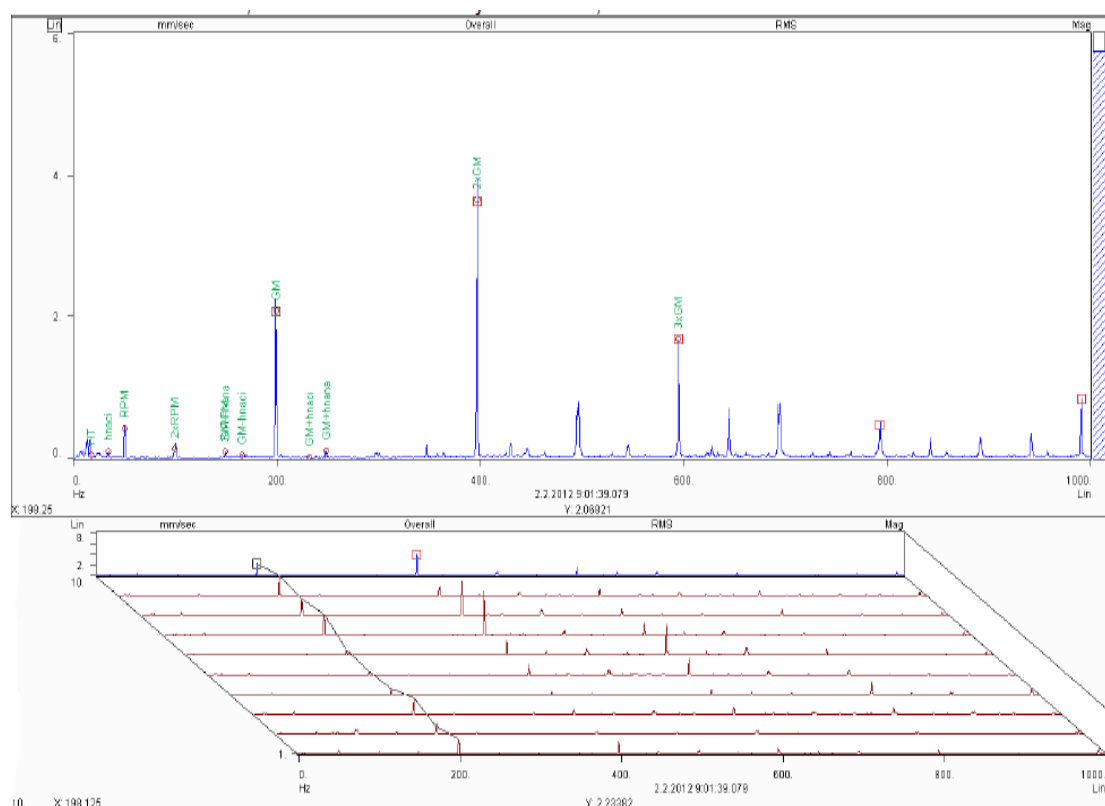


Obr. 10 Meracie body na elektromotore a kompresore

Výsledky merania kompresora SEC – 750 VARIO

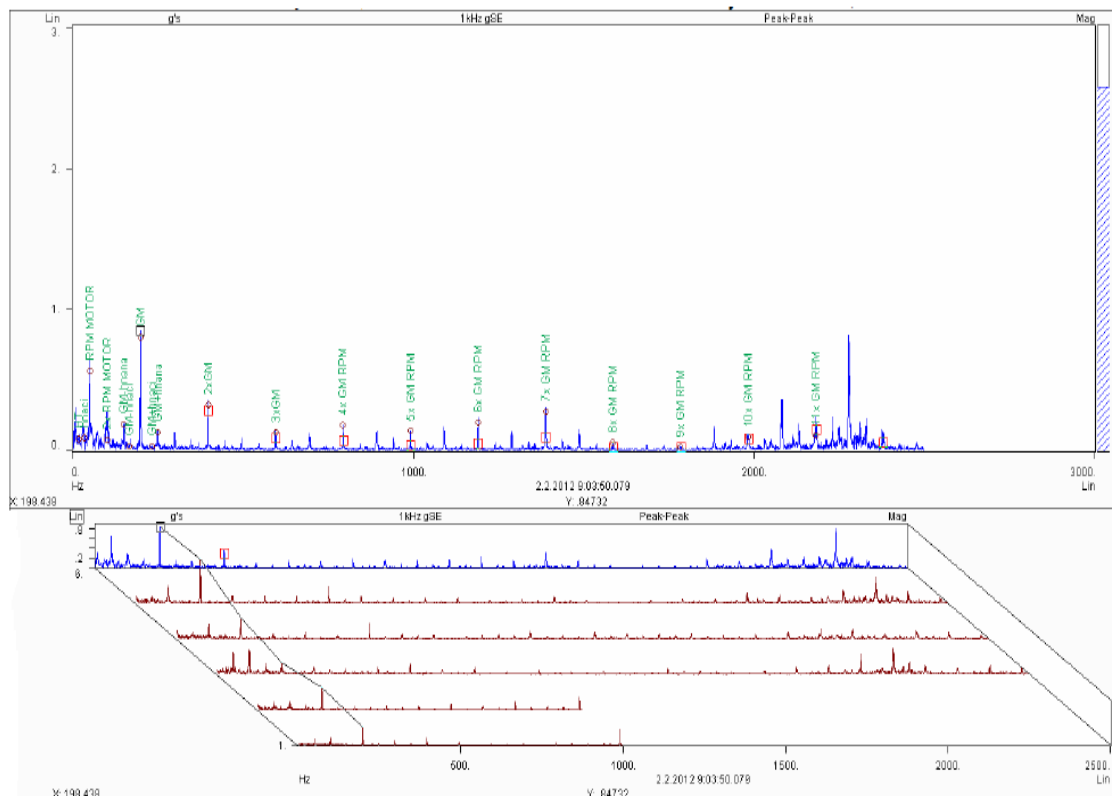
Meranie 14.3. 2012

Vo frekvenčnom spektre sú označené zložky záberovej frekvencie skrutkovic 198,1 Hz s radou harmonických násobkov.



Obr. 11 Frekvenčné spektrum a kaskáda spektier FFT rýchlosti vibrácií [16]

Vo frekvenčnom spektre sú označené špičky záberu skrutkovic s radou harmonických násobkov.



Obr. 12 Frekvenčné spektrum a kaskáda spektier FFT zrýchlenia vibrácií [16]

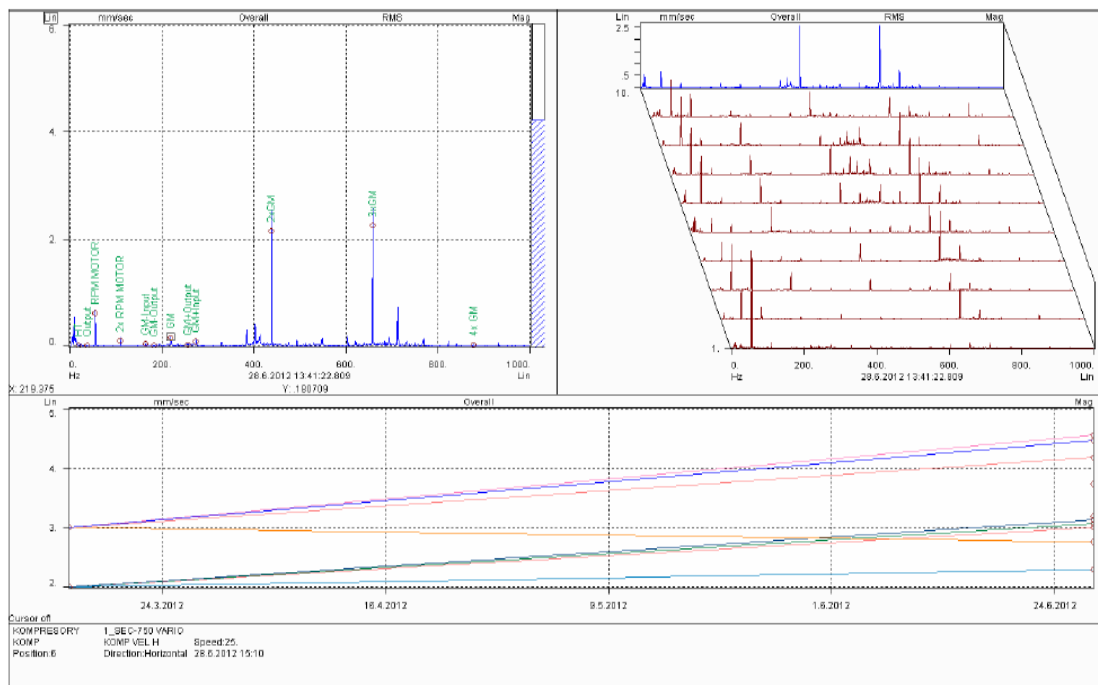
Tab.2 Hodnotenie technického stavu strojného zariadenia [16]

doporučené hodnoty rýchlostí vibrácií podľa J.E. Berry	dobrý	uspokojivý	neuspokojivý	neprístupný
stav ložísk, skrutkovic	dobrý	prevádzkový	zhoršený	havarijný

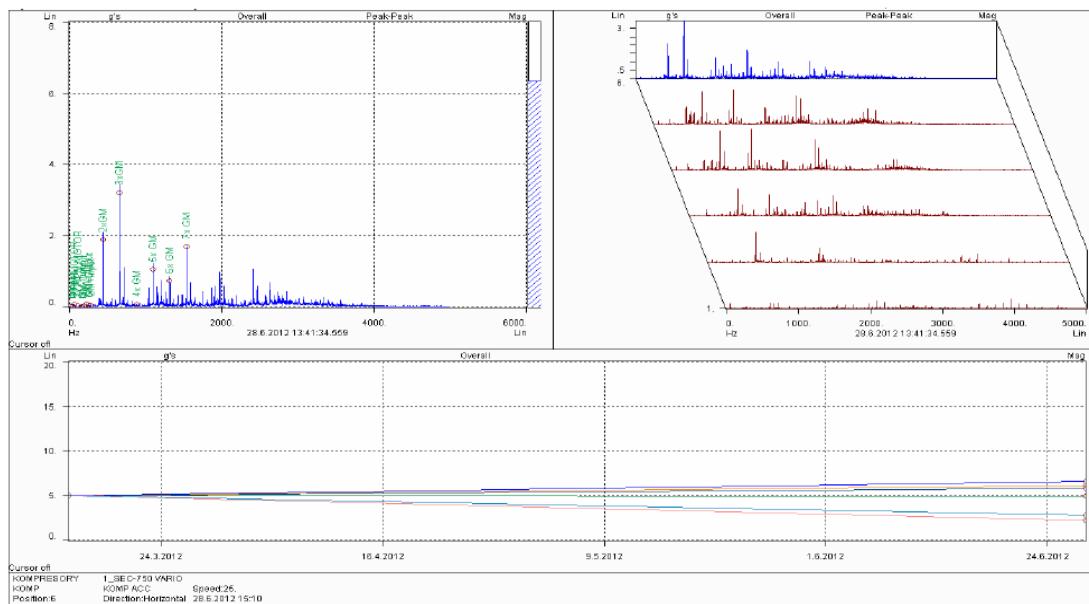
meracie body- SEC - 750 VARIO	zaťaženie	vibrácie(mm/s)	ložiska - skrutkovice
1 - elektromotor - voľný koniec	90%_48,8 Hz	dobrý	dobrý
2 - elektromotor - u spojky		dobrý	dobrý
3 - komp. hnací - u spojky		dobrý	dobrý
4 - komp. hnací - voľný koniec	90%_48,8Hz	uspokojivý	prevádzkový
5 - komp. hnaná - voľný koniec		uspokojivý	prevádzkový
6 - komp. hnaná - u spojky		uspokojivý	dobrý

Meranie 28.6. 2012

Označené zložky záberovej frekvencie skrutkovic s radou vyšších harmonických frekvencií.



Obr. 13 Frekvenčné spektrum, kaskáda a trend hodnôt FFT rýchlosti vibrácií
Vo frekvenčnom spektre sú označené špičky záberu skrutkovic s radou harmonických násobkov. [16]



Obr. 14 Frekvenčné spektrum, kaskáda a trend hodnôt FFT zrýchlenia vibrácií [16]

Tab.3 Hodnotenie technického stavu strojného zariadenia [16]

doporučené hodnoty rýchlostí vibrácií podľa J.E. Berry	dobrý	uspokojivý	neuspokojivý	neprístupný
stav ložísk, skrutkovic	dobrý	prevádzkový	zhoršený	havarijný

meracie body- SEC - 750 VARIO	zaťaženie	vibrácie(mm/s)	ložiska - skrutkovice
1 - elektromotor - voľný koniec	100%_55Hz	dobrý	dobrý
2 - elektromotor - u spojky		dobrý	dobrý
3 - komp. hnací - u spojky	100%_55Hz	dobrý	dobrý
4 - komp. hnací - voľný koniec		uspokojivý	prevádzkový
5 - komp. hnací - voľný koniec		uspokojivý	prevádzkový
6 - komp. hnací - u spojky		uspokojivý	dobrý

Zhodnotenie technického stavu kompresora SEC – 750 VARIO

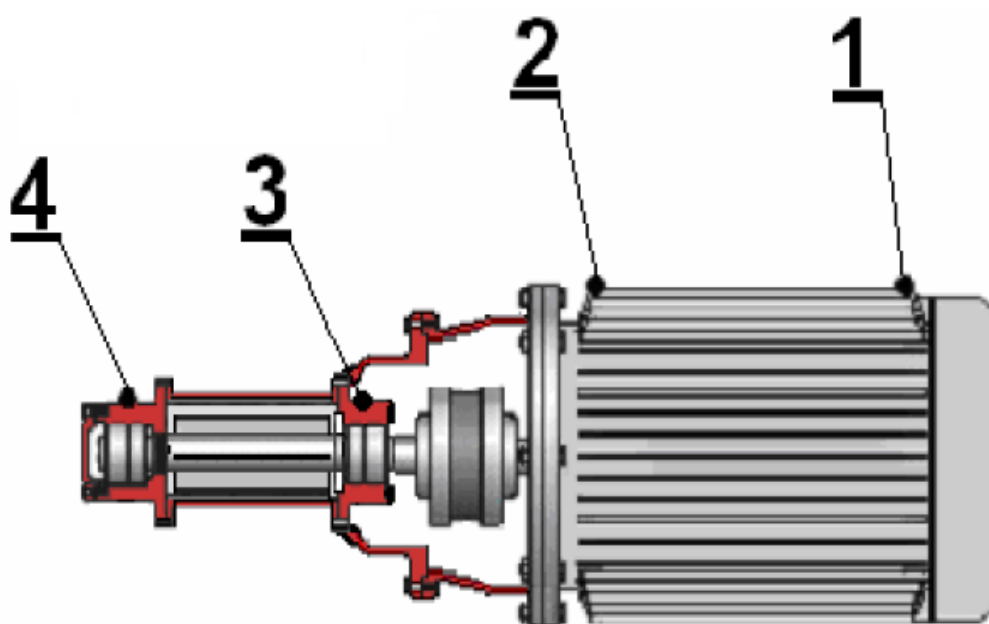
Spektra FFT rýchlostí vibrácií bez detekcie výraznejších nedostatkov spojených s nízkofrekvenčným dynamickým namáhaním ako nesúososť na spojke, prípadne uvoľnenie a ďalšie. Spektra FFT zrýchlení vibrácií bez detekcie výraznejšieho poškodenia, prevádzkový stav. Celkové hodnoty zaradzuje strojné zariadenie podľa Jamesa E. Berryho do pásma uspokojivého stavu.

3.2 Technická dokumentácia kompresora HV 75 Hydrovane

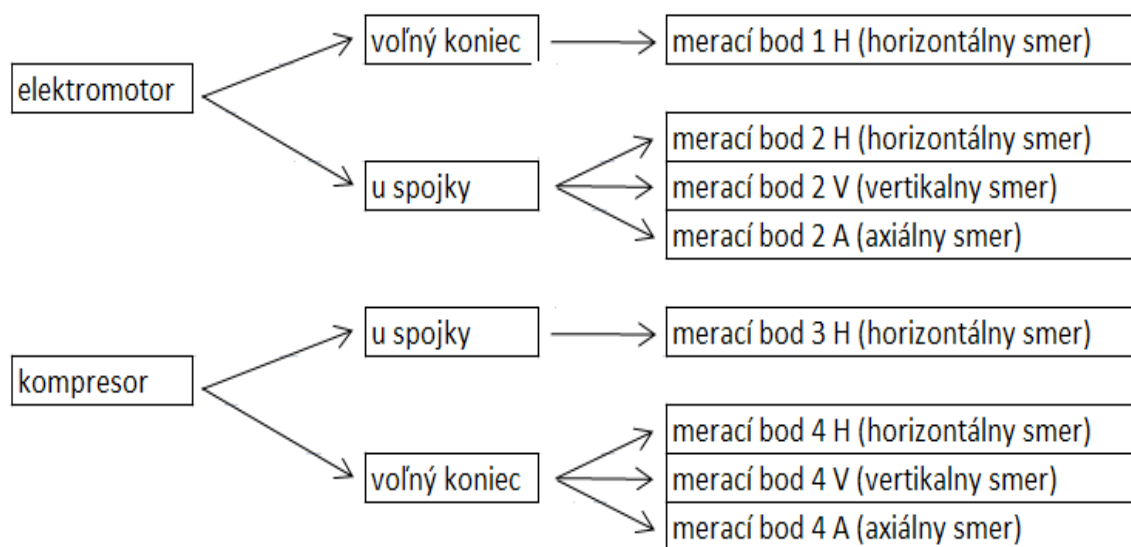
Základné technické dáta potrebné pre analýzu spektier FFT boli zaistené priamo na mieste z meraní, odčítané zo štítkov alebo z priloženej dokumentácie.

Tab.4 Parametre skrutkového kompresora HV 75 Hydrovane [16]

model	975ACEO8 – 4035S250
výkon	75 kW
max. tlak	9 bar
hodiny celkom	10 410
hodiny po záťažou	9 796
pohon - elektromotor otáčky	1 480 min ⁻¹ =24,66 Hz
ložisko elektromotora voľný koniec	merací bod 1
ložisko elektromotora u remenice	merací bod 2
kompresor otáčky	1 480 min ⁻¹ =24,66 Hz
ložisko u remenice	merací bod 3
ložisko voľný koniec	merací bod 4



Obr. 15 Schéma kompresora HV 75 Hydrovane [16]

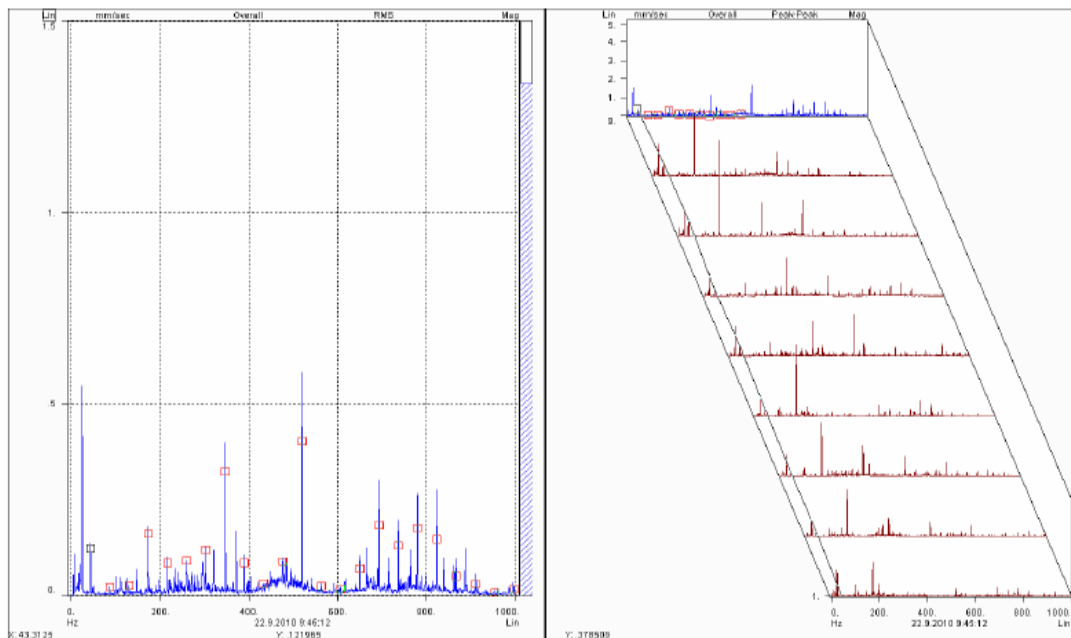


Obr. 16 Meracie body na elektromotore a kompresore

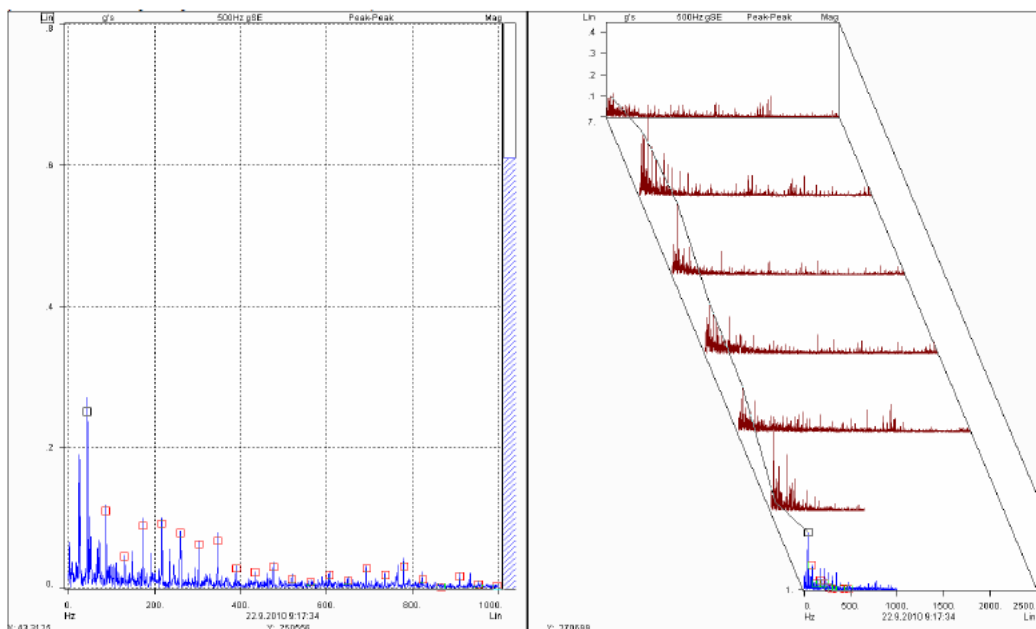
Výsledky merania kompresora HV 75 Hydrovane

Meranie 14.3. 2012

Vo frekvenčnom spektre sú označené diskkrétne zložky lamelového kompresora.



Obr. 17 Frekvenční spektrum a kaskáda spektier FFT rýchlosti vibrácií
Vo frekvenčnom spektre sú označené pracovné zložky s vyššími harmonickými frekvenciami. [16]



Obr. 18 Frekvenčné spektrum a kaskáda spektier FFT zrýchlení vibrácií [16]

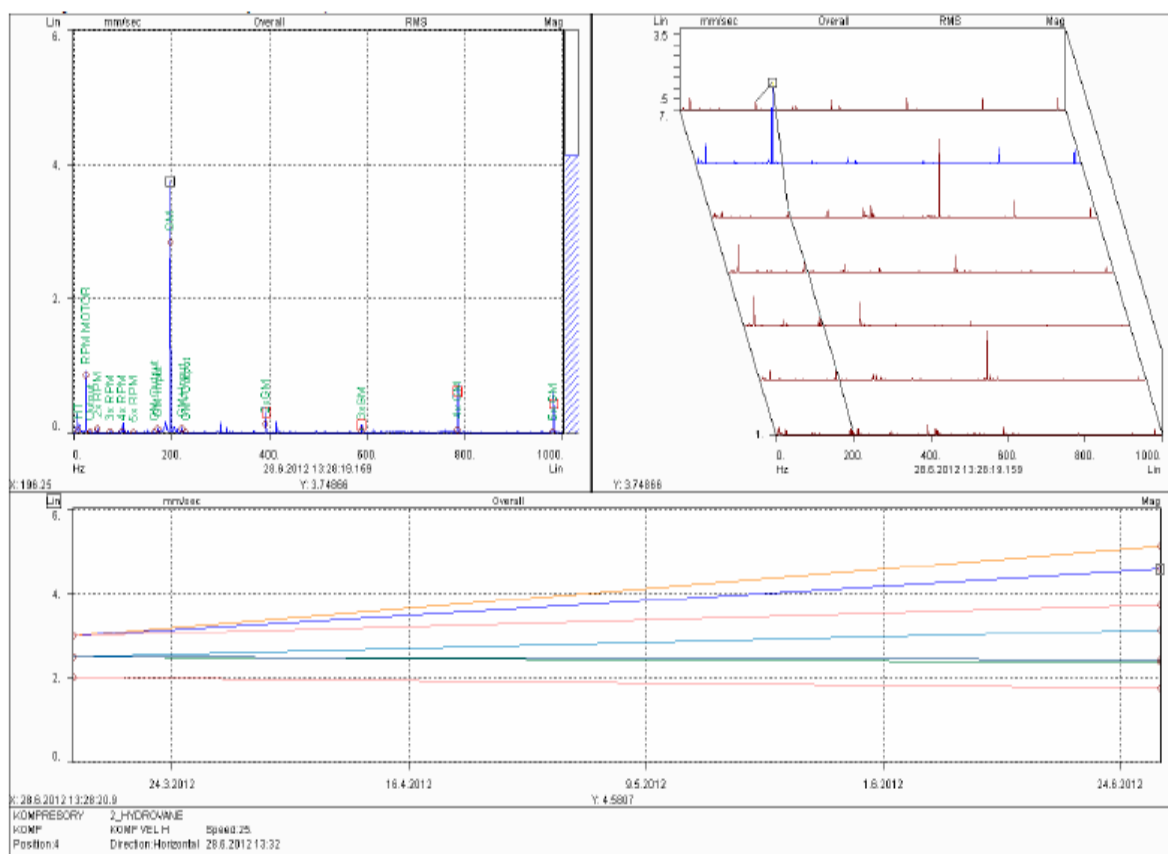
Tab.5 Hodnotenie technického stavu strojného zariadenia [16]

doporučené hodnoty rýchlostí vibrácií podľa J.E. Berry	dobrý	uspokojivý	neuspokojivý	neprístupný
stav ložísk, skrutkovic	dobrý	prevádzkový	zhoršený	havarijný

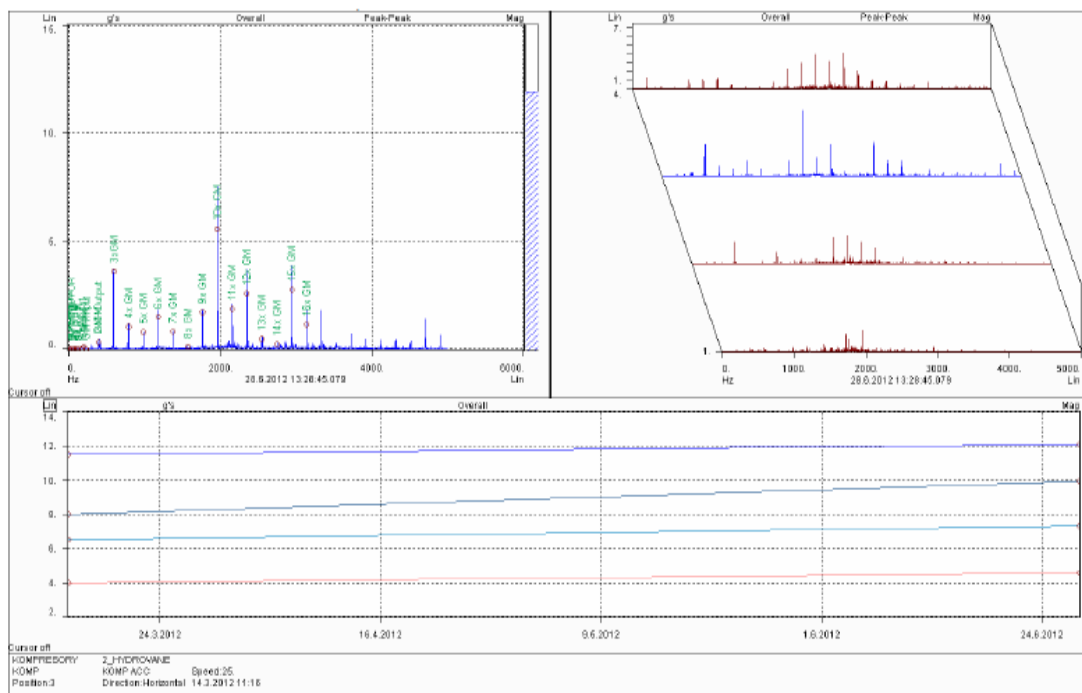
meracie body- HV 75 Hydrovane	zaťaženie	vibrácie(mm/s)	ložiska - lamely
1 - elektromotor - voľný koniec	100%_24,66 Hz	dobrý	dobrý
2 - elektromotor - u spojky		dobrý	dobrý
3 - komp. hnací - u spojky	100%_24,66 Hz	uspokojivý	prevádzkový
4 - komp. hnací - voľný koniec		uspokojivý	prevádzkový

Meranie 28.6. 2012

Vo frekvenčnom spektre sú označené diskkrétne zložky lamelového kompresoru.

**Obr. 19** Frekvenčné spektrum, kaskáda a trend hodnôt FFT rýchlostí vibrácií [16]

Označené sú záberové zložky lamiel s vyššími harmonickými frekvenciami.



Obr. 20 Frekvenčné spektrum, kaskáda a trend hodnôt FFT zrýchlení vibrácii [16]

Tab.6 Hodnotenie technického stavu strojného zariadenia [16]

doporučené hodnoty rýchlostí vibrácii podľa J.E. Berry	dobrý	uspokojivý	neuspokojivý	neprístupný
stav ložísk, skrutkovic	dobrý	prevádzkový	zhoršený	havarijný

meracie body- HV 75 Hydrovane	zaťaženie	vibrácie(mm/s)	ložiska - lamely
1 - elektromotor - voľný koniec	100%_24,66 Hz	dobrý	dobrý
2 - elektromotor - u spojky		dobrý	dobrý
3 - komp. hnací - u spojky	100%_24,66 Hz	uspokojivý	prevádzkový
4 - komp. hnací - voľný koniec		uspokojivý	prevádzkový

Zhodnotenie technického stavu kompresora HV 75 Hydrovane

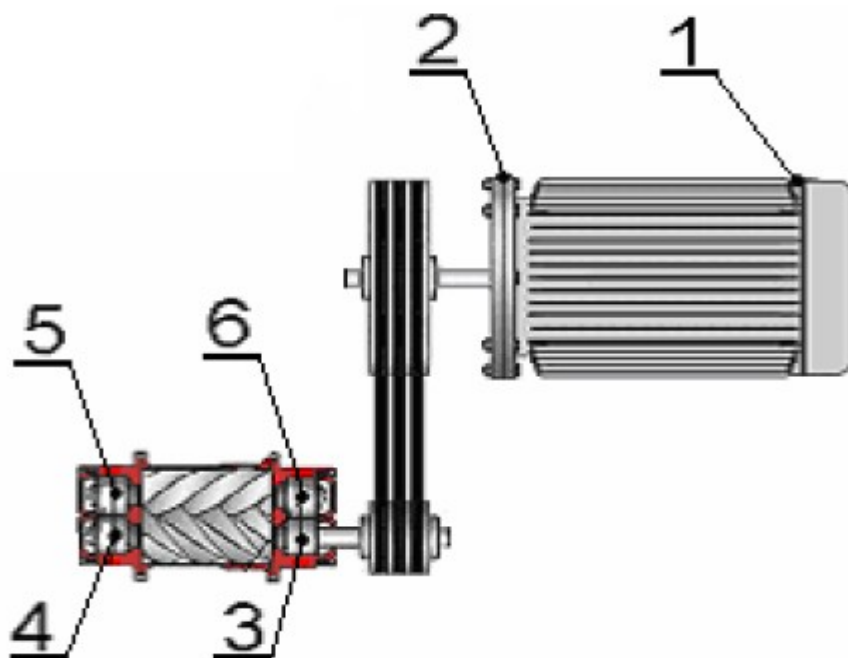
Spektra FFT rýchlostí vibrácii bez detekcie výraznejších nízkofrekvenčných nedostatkov. Spektra FFT zrýchlení a zrýchlení bez detekcie výraznejších vysokofrekvenčných nedostatkov, prevádzkový stav. Celkové hodnoty radia zariadenie podľa James E. Berryho do pásma uspokojivého.

3.3 Technická dokumentácia kompresora ATMOS SE440

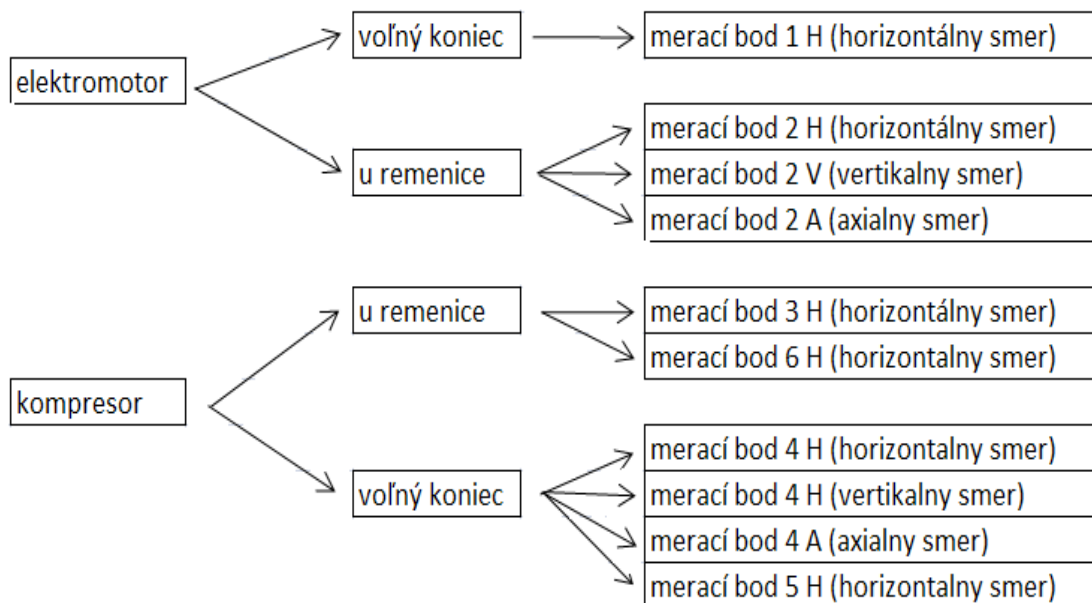
Základné technické dáta potrebné pre analýzu spektier FFT boli zaistené priamo na mieste z meraní, odčítané zo štítkov alebo z priloženej dokumentácie.

Tab.7 Parametre skrutkového kompresora ATMOS SE440 [16]

výkon	46,5 kW
max. tlak	10 bar
výrobné číslo kompresoru	79417
hodiny celkom	61 378
hodiny pod záťažou	58 104
pohon - elektromotor otáčky	$1\,480\text{ min}^{-1} = 24,5\text{ Hz}$
ložisko elektromotora voľný koniec	merací bod 1
ložisko elektromotora u remenice	merací bod 2
kompresor - otáčky	$5\,250\text{ min}^{-1} = 87,5\text{ Hz}$
ložisko hnacej skrutky u remenice	merací bod 3
ložisko hnacej skrutky voľný koniec	merací bod 4
ložisko hnanej skrutky voľný koniec	merací bod 5
ložisko hnanej skrutky u remenice	merací bod 6



Obr. 21 Schéma kompresora ATMOS SE440 [16]

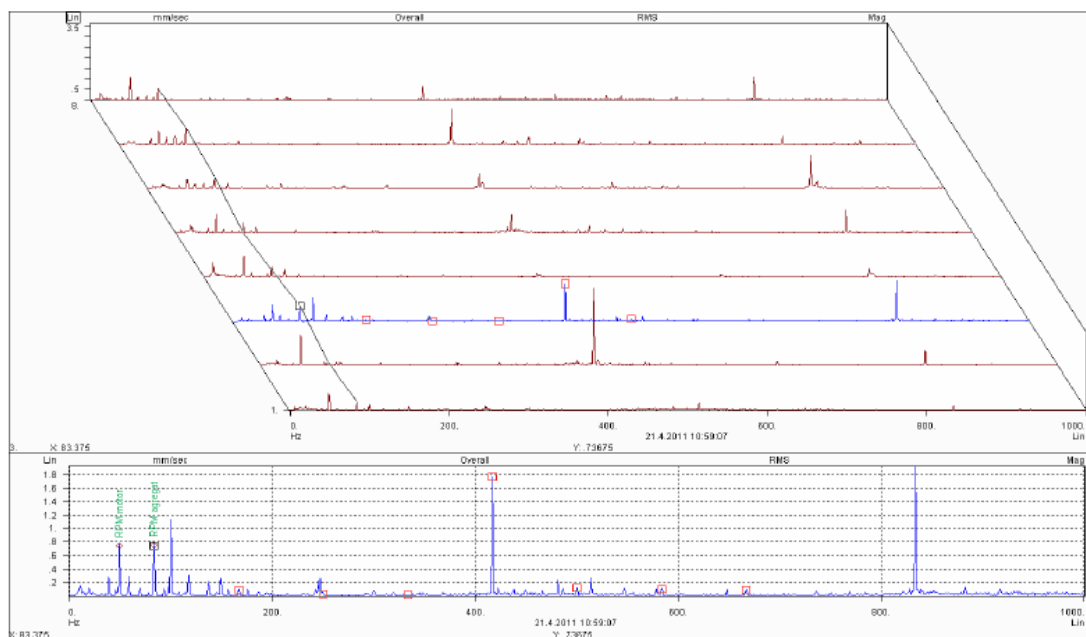


Obr. 22 Meracie body na elektromotore a kompresore

Výsledky merania kompresora ATMOS SE440

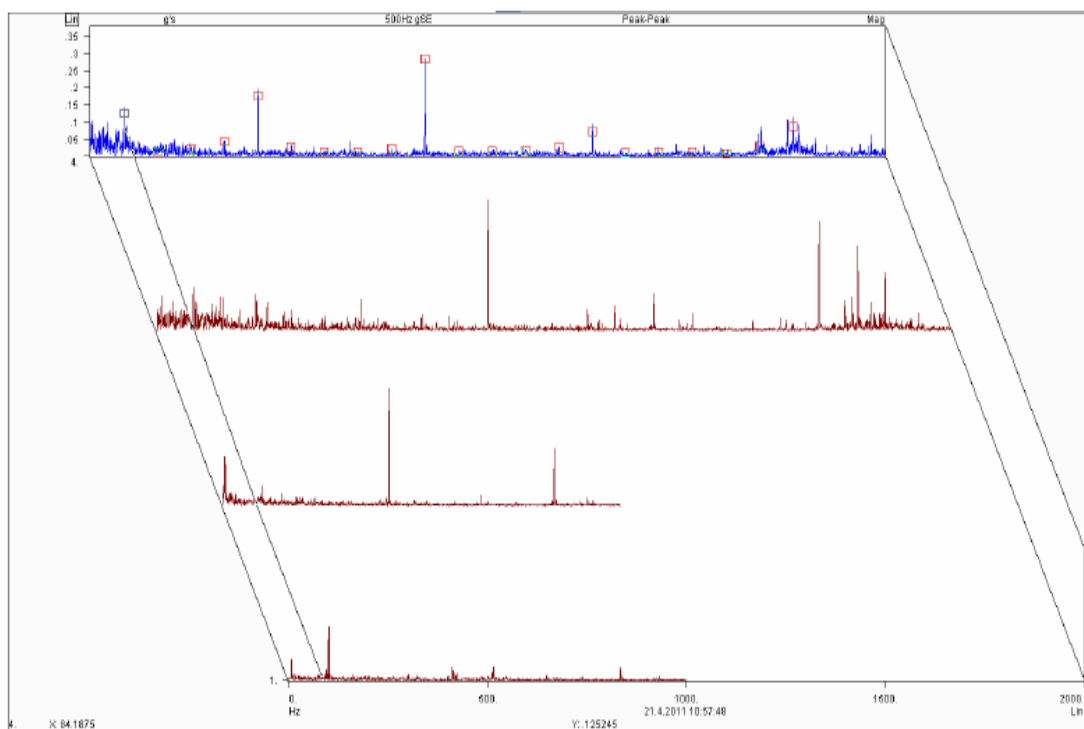
Meranie 14.3. 2012

Vo frekvenčnom spektre sú označené zložky na otáčkovej frekvencii agregátu 84 Hz, celkové hodnoty vibrácií zvýšené.



Obr. 23 Frekvenčné spektrum a kaskáda spektier FFT rýchlosti vibrácií [16]

Označená otáčková frekvencia agregátu 84 Hz s radou harmonických násobkov.



Obr. 24 Kaskádový diagram FFT zrýchlení vibrácií [16]

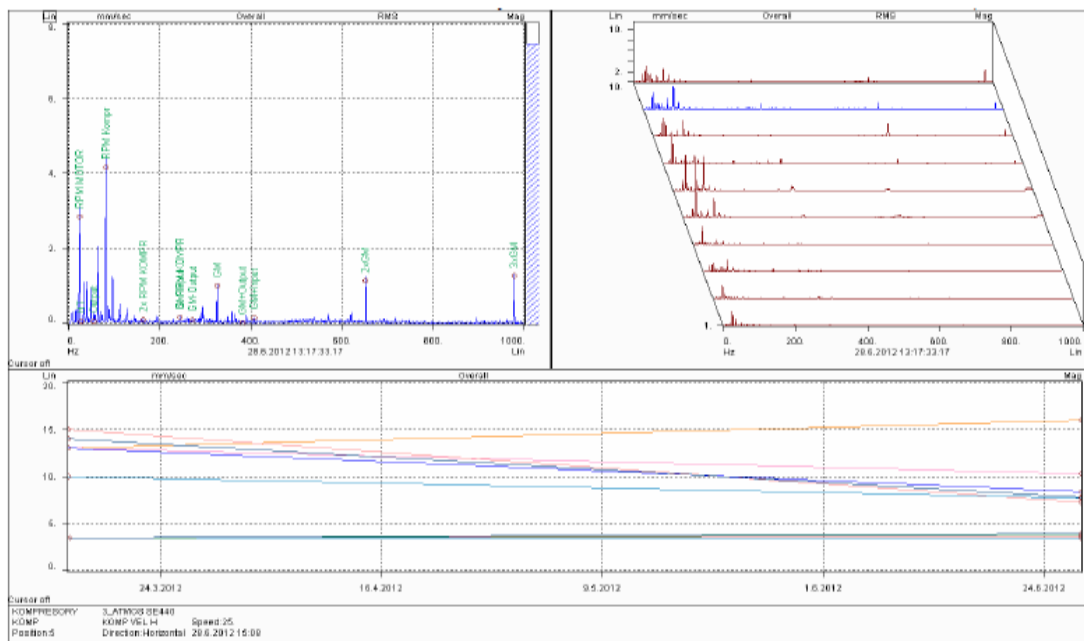
Tab.8 Hodnotenie technického stavu strojného zariadenia [16]

doporučené hodnoty rýchlostí vibrácií podľa J.E. Berry	dobrý	uspokojivý	neuspokojivý	nepřístupný
stav ložísk, skrutkovic	dobrý	prevádzkový	zhoršený	havarijný

meracie body- ATMOS SE440	zaťaženie	vibrácie(mm/s)	ložiska - skrutkovice
1 - elektromotor - voľný koniec	100%_49 Hz	uspokojivý	prevádzkový
2 - elektromotor - u spojky		uspokojivý	prevádzkový
3 - komp. hnací - u remenice	96%_84 Hz	neuspokojivý	prevádzkový
4 - komp. hnací - voľný koniec		neuspokojivý	prevádzkový
5 - komp. hnaná - voľný koniec		neuspokojivý	prevádzkový
6 - komp. hnaná - u remenice		uspokojivý	prevádzkový

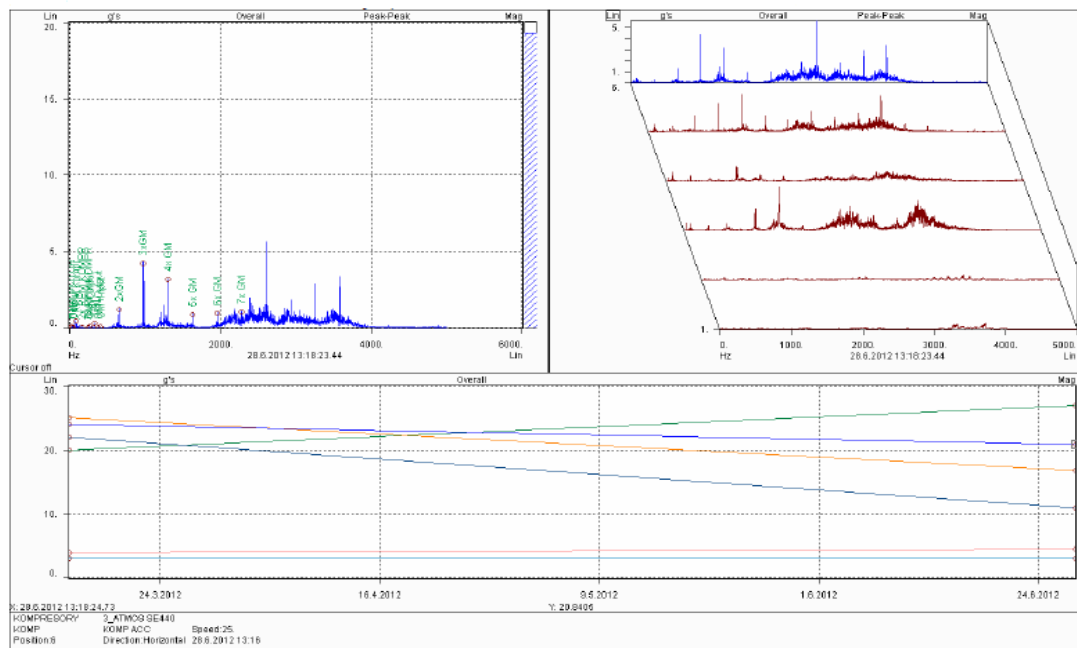
Meranie 28.6. 2012

Vo frekvenčnom spektre sú označené zložky záberovej frekvencie skrutkovic a radou vyšších harmonických frekvencií, celkové hodnoty vibrácií zvýšené.



Obr. 25 Spektrum, kaskáda a trend hodnôt FFT rýchlosti vibrácií

Vo frekvenčnom spektre označené záberové zložky skrutkovic s vyššími harmonickými, celkové hodnoty vibrácií zvýšené. [16]



Obr. 26 Frekvenčné spektrum, kaskáda a trend hodnôt FFT zrýchlení vibrácií [16]

Tab.9 Hodnotenie technického stavu strojného zariadenia [16]

doporučené hodnoty rýchlostí vibrácií podľa J.E. Berry	dobrý	uspokojivý	neuspokojivý	neprístupný
stav ložísk, skrutkovic	dobrý	prevádzkový	zhoršený	havarijný

meracie body- ATMOS SE440	zaťaženie	vibrácie(mm/s)	ložiska - skrutkovice
1 - elektromotor - voľný koniec	96%_24 Hz	uspokojivý	prevádzkový
2 - elektromotor - u spojky		uspokojivý	prevádzkový
3 - komp. hnací - u remenice	96%_81 Hz	neuspokojivý	prevádzkový
4 - komp. hnací - voľný koniec		neuspokojivý	prevádzkový
5 - komp. hnaná - voľný koniec		uspokojivý	prevádzkový
6 - komp. hnaná - u remenice		uspokojivý	prevádzkový

Zhodnotenie technického stavu kompresora ATMOS SE440

Spektra FFT rýchlostí vibrácií bez detekcie výraznejších nízkofrekvenčných nedostatkov, avšak hodnoty stále zvýšené, tento stav je pravdepodobne príznačný pre tento vysokootáčkový kompresor. Spektra FFT zrýchlení a spike energy (gSE) bez detekcie výraznejšieho mechanického poškodenia. Celkové hodnoty radia strojné zariadenie podľa James E. Berryho do pásma neuspokojivého stavu.

3.4 Meranie výkonností kompresorov

Táto kapitola bolo prevzatá a spracovaná zo záznamov výsledkov meraní spoločnosti Bochemie a.s.

3.4.1 Popis kompresorovej stanice

Kompresorová stanica je umiestnená v samostatnej miestnosti objektu číslo 34. Sú tu nainštalované tri kompresory lamelové a dva kompresory skrutkové. Základné parametre kompresorov sú v nasledujúcej tabuľke. Vyrobený stlačený vzduch je vedený do spoločného potrubia na ktorom sú napojené dve sušiacie adsorpčné sušičky, zaisťujúce rosný bod - 30°C. Vysušený tlakový vzduch je vedený do vzdušníku o objemu 6,0 m³, ktorý je umiestnený pred kompresorovňou. Odtiaľto je tlakový vzduch rozvedený do jednotlivých prevádzok. [16]

Tab.10 Základné parametre kompresorov – lamelové [16]

Označenie	K2	K4	K5
Výrobca	Hydrovane	Hydrovane	Hydrovane
Typ	HV 75 ACE	822 Classic	830 Clasic
Rok výroby	2009	2000	1999
Počet	1	1	1
Výkonnosť	760 m ³ /hod	216 m ³ /hod	281 m ³ /hod
Prevádzkový tlak	8 bar		
Príkon elektromotora	75 kW	22 kW	30 kW

Tab.11 Základné parametre kompresorov – skrutkové [16]

Označenie	K1	K3
Výrobca	ATMOS	ATMOS
Typ	SEC 750 VARIO	SE 440
Rok výroby	2006	2002
Počet	1	1
Výkonnosť	800 m ³ /hod	460 m ³ /hod
Prevádzkový tlak	8 bar	
Príkon elektromotora	75 kW	45 kW

Tab.12 Parametre adsorpčných sušičiek [16]

Označenie	S1	S2
Výrobca	Zander	Zander
Typ	WVM 150	WVM 120
Rok výroby	2009	2002
Počet	1	1
Výkonnosť	416 l/sec	328 l/sec
Tlakový rosný bod	-30°C	-30°C
Chladivo	-	-
Príkon	12,8 kW	10,9 kW

Výroba stlačeného vzduchu je meraná vibračným prietokomerom, tiež je meraná celková spotreba elektrickej energie na výrobu stlačeného vzduchu. Podružné merania elektrickej energie sú inštalované u všetkých kompresoroch a sušičiek. Týmto je možné vyhodnocovať aj spotrebu elektrickej energie na úpravu vyrobeného stlačeného vzduchu.

3.4.2 Meracia metóda

Pre automatickú prevádzku kompresorov a sušičiek sú merané základné veličiny vyrobeného stlačeného vzduchu, ako je tlak, teplota, rosný bod a tiež množstvo

vyrobeného vzduchu. Merané veličiny sú stiahnuté do regulačnej jednotky, ktorej súčasťou je panel, na ktorom sú zobrazené merané a požadované veličiny. Medzi zobrazovanými hodnotami je tiež hodnota výkonnosti v Nm^3/h . Táto hodnota však nie je okamžitá hodnota prislúchajúca k zobrazovanej hodnote tlaku, ale jedná sa o výpočet z niekoľko hodnôt tlaku a teploty. Jedná sa teda o priemernú hodnotu. Aby bolo možné stanoviť výkonnostnú krivku v závislosti na tlaku, je nutné používať pre výpočet okamžité hodnoty teploty vzduchu a tlaku vzduchu. Z tohto dôvodu býva zvolená metóda merania výkonnosti kompresorov tzv. metódou plnenia vzdušníka. Metóda spočíva v sledovaní zvýšenia tlaku vzduchu v známom objemu a to v čase pri súčasnom sledovaní teploty, tlaku vzduchu a spotreby elektrickej energie. Z panela rozvádzača regulátora boli odpočítané hodnoty tlaku vzduchu, teploty vzduchu a množstva vzduchu prepočítané na normálne podmienky. Spotreba elektrickej energie bola odpočítaná z elektromera. [16]

Tab.13 Merané hodnoty [16]

Pretlak vzduchu vo vzdušníku	p	bar
Teplota vzduchu na vstupe do vzdušníka	t	°C
Množstvo vyrobeného vzduchu prepočítaného na normatívne podmienky (0°C a 101,5 kPa- atmosférický tlak	v	Nm^3/h
Spotreba elektrickej energie	p	kWh

3.4.3 Veľkosť objemu

Ako už bolo uvedené, meranie výkonnosti kompresora spočíva v sledovaní zvýšenia tlaku v závislosti na čase v uzatvorenom objeme o známej veľkosti. Objem sa zostavuje z objemu vzdušníkov, filtrov, sušičiek a spojovacieho potrubia.

Tab.14 Tabuľka objemov jednotlivých komponentov [16]

	zariadenie	ks	dĺžka	potrubie	objem
objem vzdušníka a potrubia	litre		m	m^2	m^3
sušička 1	376				
filter	8,5	1			0,009
sušička 2	305	1			0,305
filter	15	2			0,03
sušička	305	1			0,305
vzdušník	6000	1			6
potrubie			46	0,005	0,231
celkom					6,88

3.4.4 Priebeh meraní

Meranie výkonnosti kompresorov bolo prevedené u každého kompresoru zvlášť. Pred každým meraním bol vzdušník a prepojené komponenty vyprázdnené na atmosférický tlak. Potom bola uzatvorená klapka na výstupnom potrubí stlačeného vzduchu smerom do prevádzky. Meranie bolo zahájené po zvýšení pretlaku vzduchu vo vzdušníku na 0,3 až 0,5 bar. Potom bol odpočítaný čas, teplota vzduchu a stav elektromera pri zvolených tlakoch až do okamžiku, kedy regulácie kompresorov odstavila dodávku vzduchu z dôvodu prekročenia nastavenia požadovaného prevádzkového tlaku. Z nameraných hodnôt bolo možné vypočítať množstvo vzduchu dodaného pri jednotlivých zvolených tlakových úrovniach a stanoviť výkonnostnú krivku kompresorov. Tá charakterizuje priebeh dodaného množstva vzduchu v závislosti na dodávanom tlaku. [16]

Dodávaný objem bol vypočítaný zo vzťahu:

$$\frac{V_1 \times P_1}{T_1} = \frac{V_0 \times P_0}{T_0} \Rightarrow V_0 = \frac{V_1 \times P_1 \times T_0}{P_0 \times T_1} \quad \begin{array}{l} T_0 = 273,16 \text{ K} \\ P_0 = 1,013 \text{ bar (absolútny)} \end{array}$$

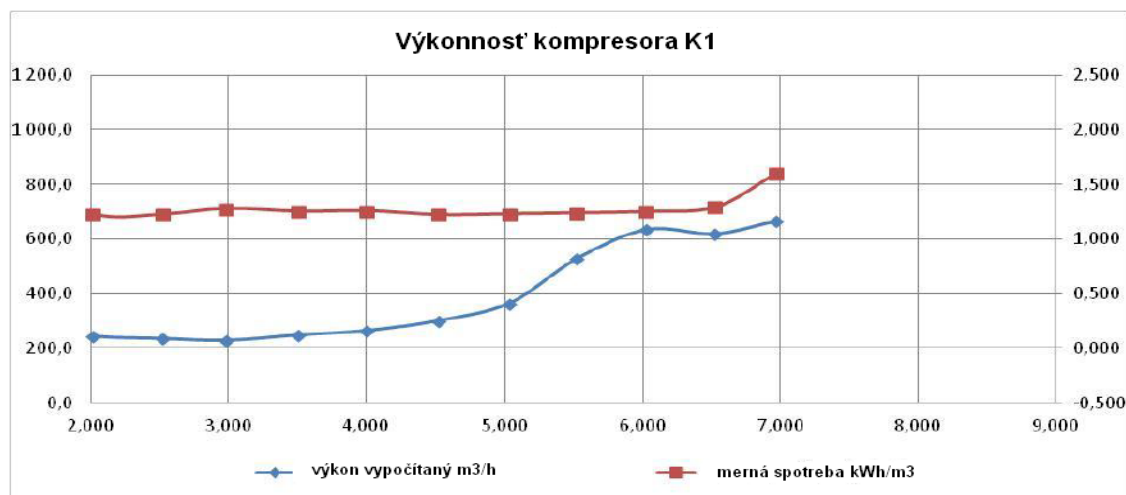
3.4.5 Namerané hodnoty

Na paneli rozvádzača boli odčítané hodnoty tlaku, teploty a tiež množstva dodávaného vzduchu v m³/h. Ďalej bol odčítaný čas, stav príslušného elektromotoru a pretekajúci prúd. Z týchto hodnôt boli vypočítané hodnoty a výsledný graf výkonnosti jednotlivých kompresorov. [16]

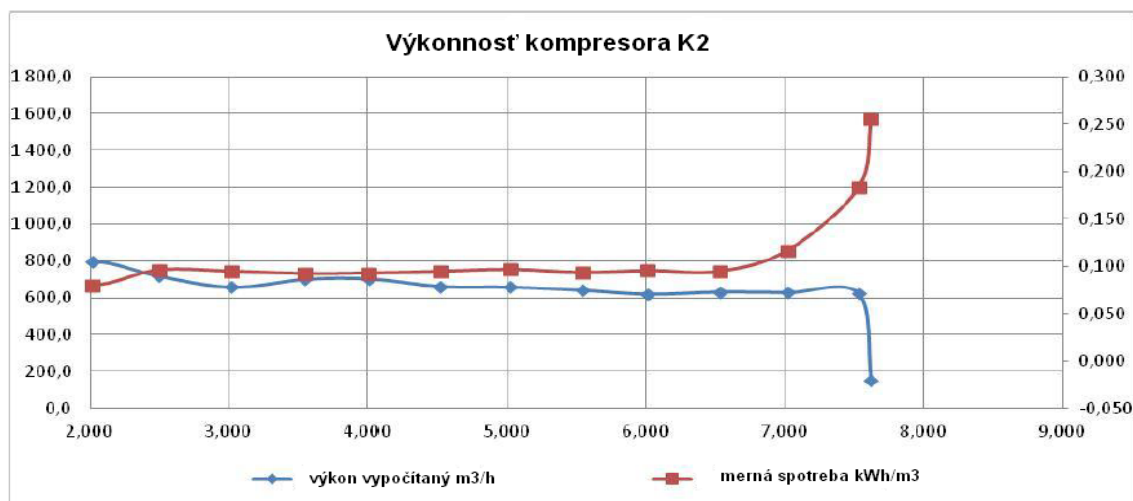


Obr. 27 Prevádzkové veličiny kompresorovne [16]

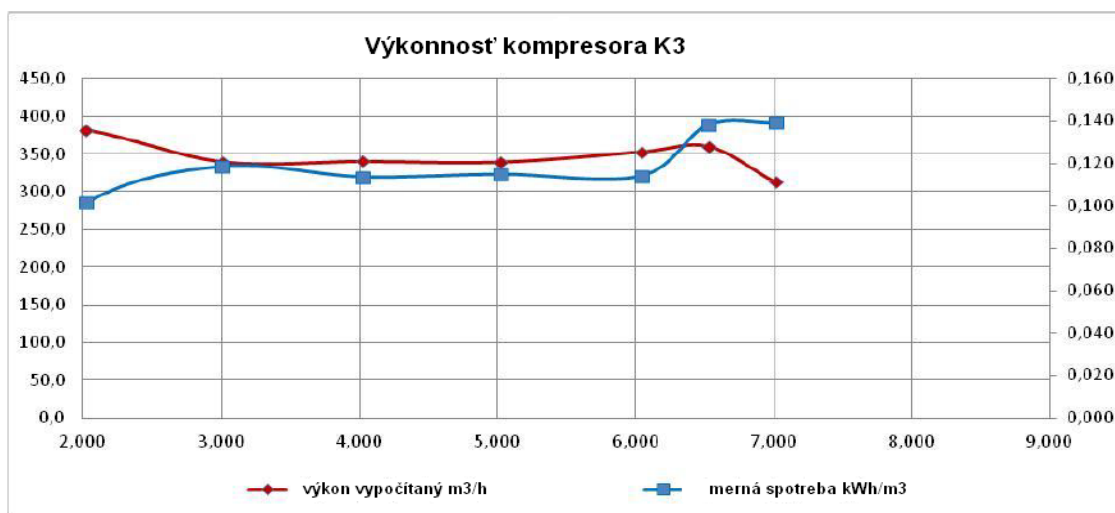
Výkonnostné charakteristiky jednotlivých kompresorov



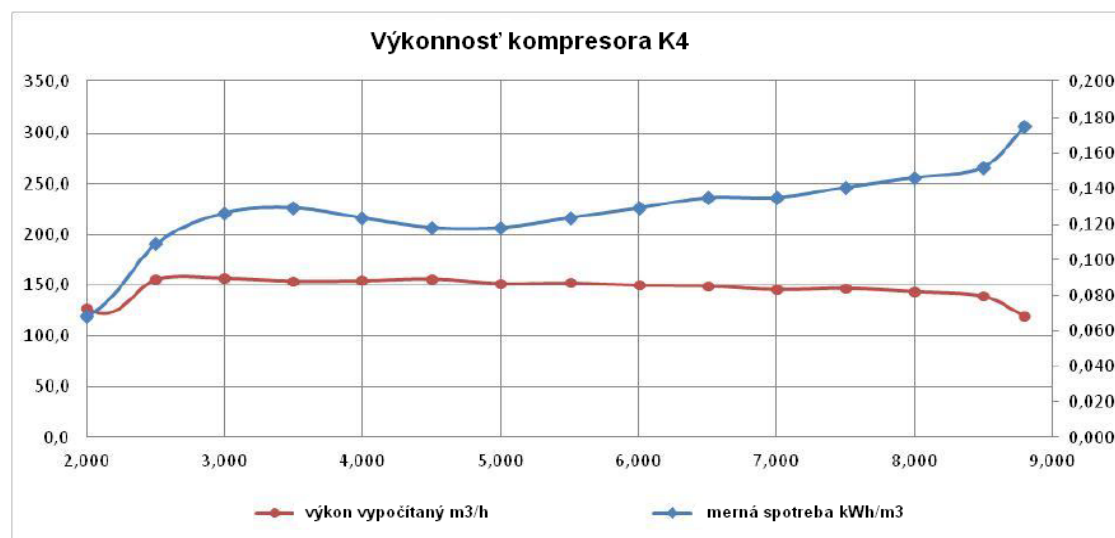
Obr. 28 Výkonnosť kompresora K1 [16]



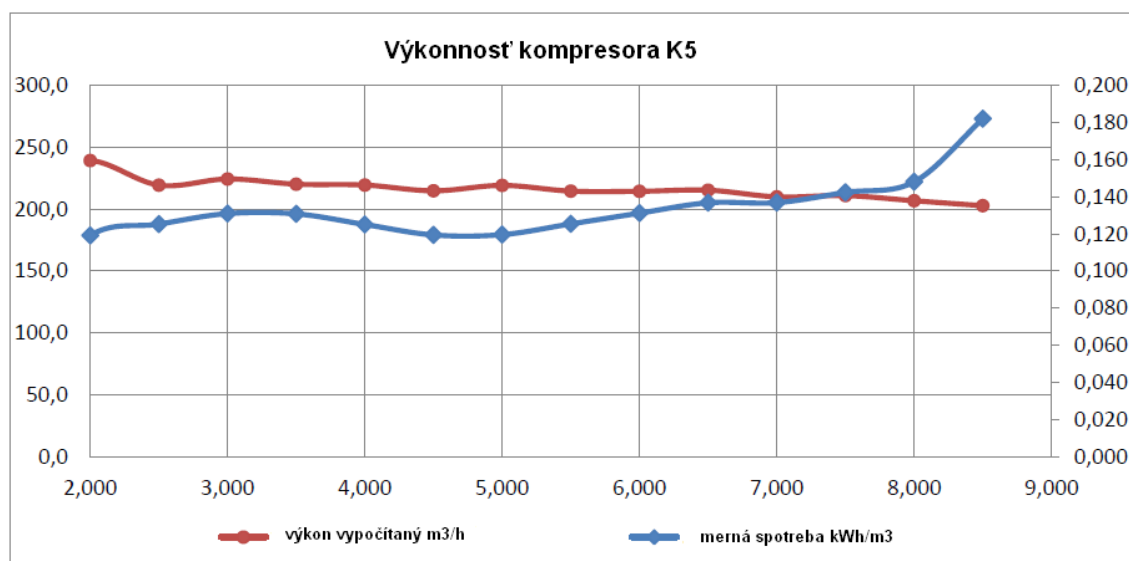
Obr. 29 Výkonnost' kompresora K2 [16]



Obr. 30 Výkonnost' kompresora K3 [16]



Obr. 31 Výkonnost' kompresora K4 [16]



Obr. 32 Výkonnosť kompresora K5 [16]

3.4.6 Vyhodnotenie

Z uvedených grafov je zjavné, že výkonnosť jednotlivých kompresorov klesá s rastúcim dodávaným tlakom vzduchu. U skrutkových kompresoroch K1 a K3 je možné vidieť prudší pokles výkonnosti dodávaného množstva pri nábehu kompresorov. Ďalší pokles výkonnosti sa prejavuje až pri tlakoch 7,5 až 8,0 bar. U lamelových kompresoroch K2, K4 a K5 je vidieť pomerne tvrdú charakteristiku, ktorá je vyrovnaná v rozsahu tlakov 1,0 až cca 8,0 bar. Nad 8,0 bar dochádza opäť k poklesu výkonnosti týchto kompresorov.

Vzhľadom k tomu, že prevádzkový tlak sa pohybuje medzi 7,5 a 8,5 bar bude ďalšie hodnotenie prevedené pre tento rozsah tlakov. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené hodnoty výkonu kompresora v oblasti dodávaného tlaku cca 6,0 až 8,5 bar. Ďalej sú tu uvedené merné spotreby elektrickej energie pri dodávaných tlakoch. Tieto hodnoty je nutné brať skôr ako orientačné, pretože spotreba elektrickej energie bola odčítaná z elektromeru, kde veľkosť odobranej elektrickej energie medzi jednotlivými meraniami bola malá, takže rozdiel nebolo možné presne z elektromera odčítať. Preto spotreba elektrickej energie v meraniach bola vypočítaná ako priemerná hodnota spotreby elektrickej energie medzi dvoma meraniami. [16]

Tab.15 Spotreba elektrickej energie kompresora K1 [16g]

KOMPRESOR K1				
Pretlak	bar	6,03	6,52	6,97
Výkonnosť vypočítaný	m3/h	632,66	616,93	664,1
Merná spotreba	kWh/m3	1,247	1,287	1,597

Tab.16 Spotreba elektrickej energie kompresora K2 [16]

KOMPRESOR K2						
Pretlak	bar	6,01	6,53	7,02	7,53	7,62
Výkonnosť vypočítaný	m3/h	621,22	632,92	630,4	624,23	150,58
Merná spotreba	kWh/m3	0,095	0,095	0,117	0,183	0,256

Tab.17 Spotreba elektrickej energie kompresora K3 [16]

KOMPRESOR K3				
Pretlak	bar	6,04	6,53	7,01
Výkonnosť vypočítaný	m3/h	353,54	360,83	312,96
Merná spotreba	kWh/m3	0,114	0,138	0,139

Tab.18 Spotreba elektrickej energie kompresora K4 [16g]

KOMPRESOR K4							
Pretlak	bar	6	6,5	7	7,5	8	8,5
Výkonnosť vypočítaný	m3/h	150,42	149,7	146,25	147,48	144,23	139,58
Merná spotreba	kWh/m3	0,129	0,135	0,135	0,141	0,146	0,152

Tab.19 Spotreba elektrickej energie kompresora K5 [16]

KOMPRESOR K5							
Pretlak	bar	6	6,5	7	7,5	8	8,5
Výkonnosť vypočítaný	m3/h	214,46	215,34	209,97	210,97	206,83	202,85
Merná spotreba	kWh/m3	0,131	0,137	0,137	0,142	0,148	0,182

Meranie výkonnosti kompresorov potvrdilo, že prevádzková výkonová charakteristika je závislá na dodávanom tlaku vzduchu a že pri nízkych tlakoch, cca do 3,0 bar, je výkon vyšší a pri tlakoch nad 7,5 bar sa výkonnosť kompresorov znižuje a zvyšuje sa hodnota mernej spotreby elektrickej energie. Ďalej z uvedených charakteristík je zjavné, že skrutkové kompresory majú tzv. mäkšiu charakteristiku a lamelové kompresory zase tvrdšiu. Znamená to, že pri nábehu lamelových kompresorov je dodávané zhruba rovnaké množstvo v celom rozsahu prevádzkového tlaku a výkonnosť klesá najprv okolo 8,0 baru. [16]

4 Riadenie výkonnosti kompresorov

Táto kapitola bola spracovaná podľa literatúry [3,9,4,5]

Vplyvom nerovnomernosti technologického procesu zaist'ovaného kompresorom kolísá často množstvo plynu stlačovaného kompresorom v dosť širokých medziach. Aby nedošlo k neprijateľnému kolísaniu výtláčného alebo sacieho tlaku kompresora, musí zasiahnuť regulácia, ktorá prispôsobí výkon kompresora množstvu odobranému technologickým procesom. V mnohých prípadoch sa reguláciou udržiava konštantný tlak výtláčny, u chladiacich kompresoroch a u výjev je obvykle nutné udržiavať stály tlak sací. U niekoľkostupňových kompresoroch je dôležitou zásadou, že sa reguluje súčasne výkon všetkých stupňov, aby sa v neregulovanom stupni značne nemenil tlakový pomer, pretože by tak došlo k nežiaducemu zvýšeniu kompresnej teploty. Z hľadiska prevádzkových nákladov je dôležité, aby príkon kompresora pokiaľ možno odpovedal dodávanému množstvu plynu, tj., aby sa merná spotreba energie nemenila.

4.1 Rozbehové odľahčenie

Veľké krátkodobé rozbehové špičky elektromotorov môžu mať negatívny vplyv na spotrebiče, ktoré sú citlivé na zmenu napätia (počítače, CNC – riadene systémy). Veľké pohonné motory spôsobujú pri rozbehu, obzvlášť v miestnych sieťach a pri napájacích transformátoroch malých výkonov, neprípustné poklesy napätia. Aby sa predchádzalo takýmto stavom, robia sa zmeny buď v motore alebo v chladiacom zariadení.

Určitými opatreniami prevedenými na motore sú napríklad:

- Rozdelene vinutie
- Zapojenie hviezda – trojuholník
- Odporový rozbeh

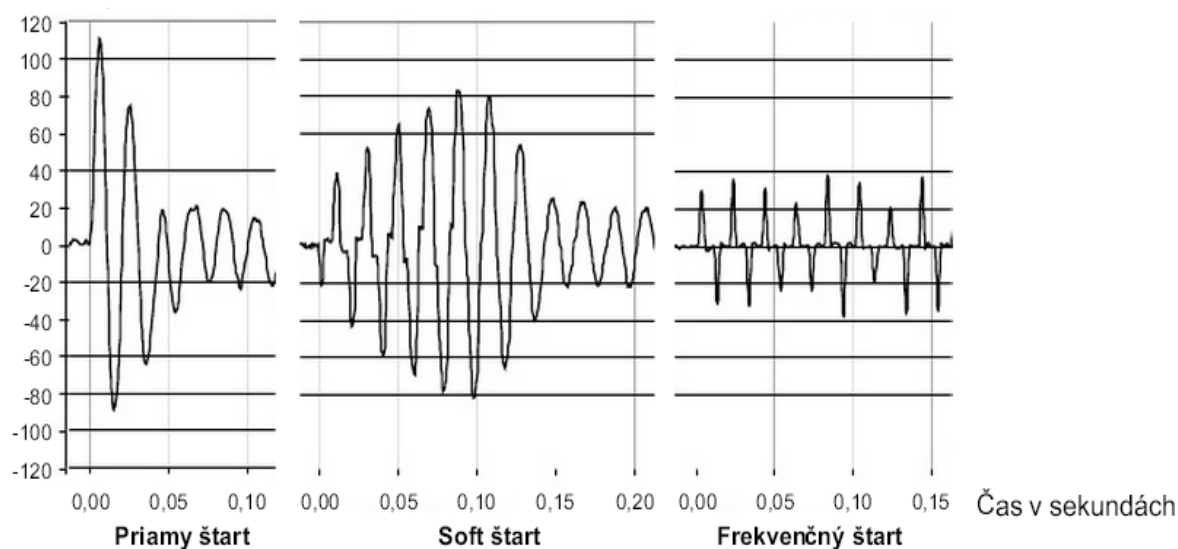
Takéto nastavenie stroja sa často, hlavne pri väčších kompresoroch, spája s dodatočnými opatreniami v chladiacom zariadení, pretože ich bezproblémový rozbeh je možný len pri malých tlakových rozbehoch.

Rozbehové odľahčenie pozostáva v podstate z obtokového zariadenia, ktoré je riadené elektromagnetickým ventilom. Pri zapojení hviezda – trojuholník a čiastočným vinutím je magneticky ventil počas rozbehovej fázy otvorený (zapojenie hviezda – trojuholník). Týmto spôsobom sa realizuje krátkodobé vyrovnávanie tlakov medzi sacou a výtláčnou

stranou a kompresor sa tak rozbehne bez zaťaženia. Ak sa do výtláčného potrubia zabuduje spätný ventil zabráni sa tým pri zastavení spätnému prúdeniu plynu z kondenzátora.

Pri odporovom rozbehu alebo pri podobných metódach (napríklad „Soft – Štart“), sa pomocou tyristorov reguluje a ohraničuje prívod energie k motoru. Vyrovnávanie tlakov nastane v časovom úseku 10 až 15 sekúnd. Potrebne je potom počítať s dostatočným časovým posunom, ktorý posunie štart kompresora o tento časový úsek.

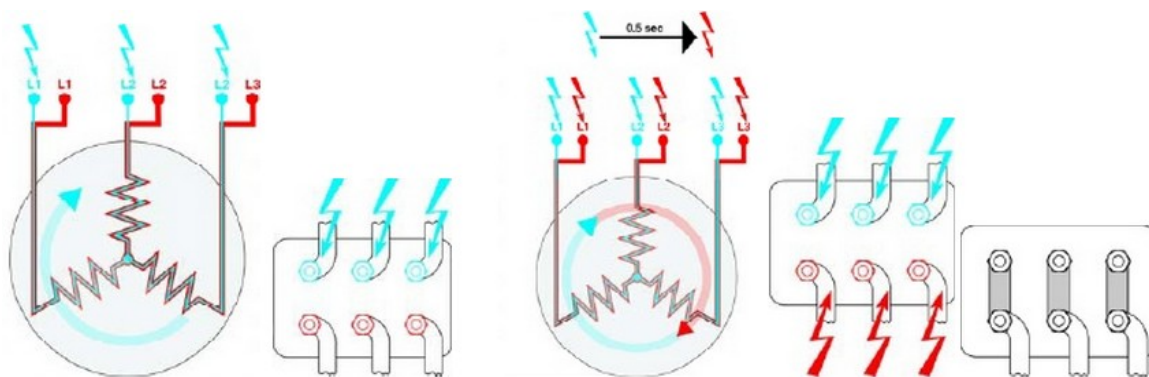
Pri tomto prevedení extrémneho rozbehového odľahčenia môže byť navrhnuté obtokové potrubie a magnetický ventil musí byť menší ako tlakové potrubie. Z dôvodu hromadenia kondenzátu v obtokovom potrubí musí zabrániť možným kvapalinovým razom pomocou krátkeho stúpajúceho alebo horizontálneho potrubia siahajúceho až k magnetickému ventilu. [9]



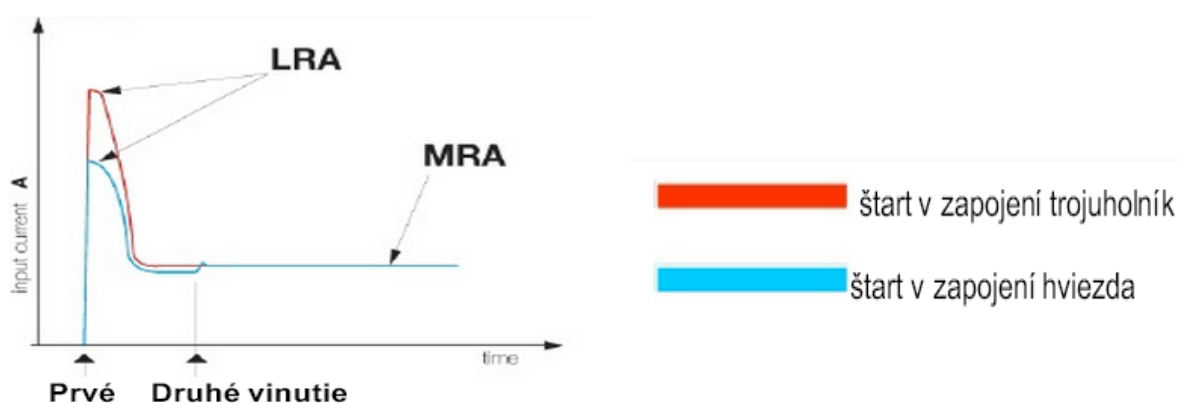
Obr. 33 Štartovací prúd v ampéroch [9]

Odľahčený rozbeh kompresora pri štarte s rozdeleným vinutím

Tieto druhy motorov majú statorové vinutie rozdelené do dvoch vo hviezde zapojených častí v pomere 50/50 alebo 33/36%. Tato koncepcia má tu prednosť, že prepínanie druhého vinutia s oneskorením 0,5-1 s prebehne bez prerušenia a tým sa minimalizuje druhá prúdová špička. Behom spustenia s jedným vinutím je kompresor mechanicky odľahčený pomocou obtoku.



Obr. 34 Zľava štart na prvé vinutie, pripnutie druhého vinutia v zapojení hviezda s prepnutím do trojuholníka [9]



Obr. 35 Zníženie prúdového odberu pri rozbehu odľahčeného kompresora s rozdeleným vinutím po pripojení prvého a druhého vinutia [9]

Synergia frekvenčného invertora a soft – štartéru

Pokiaľ invertovaný dosiahne maximálne otáčky a pripája sa k nemu druhý, jeho otáčky sa znížia z frekvencie 70 Hz na 20 Hz. Vtedy sa pripája druhý kompresor v priebehu 3 sekúnd so soft štartérom. Tento hladký štart umožňuje nie len nezvýšiť prúdový odber, ale umožňuje tiež plynulú reguláciu chladiaceho výkonu s jedným invertorom od 16 do 100 %.

4.2 Regulácia výkonnosti kompresora

4.2.1 ON/OFF – Regulácia zastavením kompresora, paralelných chladiacich okruhov

Najjednoduchšia a najpoužívanější metóda riadenia výkonu je zapínaním a vypínaním kompresora pomocou termostatov alebo presostatov. Touto formou regulácie výkonu sa získava nesúvislý objemový prietok medzi 0% a 100% dvoma spôsobmi: zastavením hnacieho motora alebo odpojením kompresora od motora pomocou elektromagnetickej spojky. Z energetického hľadiska je prerušovaný pohon vhodná regulácia pretože pri plnom zaťažení sa dosahuje optimálna účinnosť a pri zastavení nie je žiadna spotreba energie. Na druhej strane, časté vypínanie a zapínanie znižuje energetickú účinnosť. Vysoké rozbehové prúdy a veľké tepelné zaťaženie spínačov ako aj nevýhodný vzťah medzi rozbehovým prúdom a ušetrenou energiou obmedzujú použitie tejto regulácie. Vplyvom zníženého mazania pri rozbehu sa zvyšuje mechanické opotrebenie.

Tato metóda regulácie sa osvedčila v aplikáciách domácich chladničiek, ako aj v malom priemyselnom chladení. Pri väčších kompresoroch s výkonom do 20 kW je bežné, že sa zapínajú 8-10 krát za hodinu a používajú vhodné bezpečnostné prvky ako je napríklad rozbehové odľahčenie. Regulácia objemového prietoku odpojením kompresora od motora pomocou spojky má taký význam, že pri rozbehu kompresora vznikajú menšie prúdové nárazy v sieti. Za nevýhody sa považuje vyššia cena za elektromagnetické spojky a práca, ktorá je potrebná pri chode naprázdno.

Pri vyšších výkonových zaťaženiach je možné prepojiť niekoľko kompresorov súčasne. Zapínaním a vypínaním jednotlivých kompresorov sa dá dosiahnuť požadovaný chladiaci výkon zariadenia. Prevádzková spoľahlivosť je vyššia, pretože pri výpadku jedného kompresora je zariadenie schopné ďalej pracovať. Odstupňovanie výkonu v spojených systémoch závisí od počtu kompresorov. [3,9]

4.2.2 Mechanická regulácia v kompresoroch na strane chladiwa

➤ Regulácia obtokom horúceho plynu

Regulácia obtokom spočíva v prepojení výtlačného a sacieho potrubia elektromagnetickým ventilom. Zníženie objemového prietoku chladiwa prúdiaceho cez

výparník a škrtiaci ventil sa dosiahne tak, že pary chladiva stlačené na kondenzačný tlak sa privedú do sacieho potrubia. Takáto regulácia ma určité obmedzenia z hľadiska rastu výtlačnej teploty kompresora, ale nástrekom kvapalného chladiva do sacieho potrubia sa jej hranice rozšíria plynulo až na takmer 100%. Používa sa aj v kombinácii s inými reguláciami, napríklad pri vyradovaní valcov. V chladiacich zariadeniach s jedným výparníkom by mal obtok byť vedený na vstup do výparníka. Tým sa:

- Eliminuje potreba vstrekového ventilu kvapalného chladiva na vstupe do kompresora, pretože teplo je parám odobrané vo výparníku.
- Zlepší návrat oleja vďaka zvýšenému prietoku chladiva cez výparník.

Ide o cenovo výhodný, ale energeticky nehospodárny spôsob regulácie (maří sa energia).

➤ **Regulácia škrténím nasávaných pár**

Tento spôsob regulácie sa používa pri presnom nastavení prietokového množstva a to tak, že sa do sacieho potrubia umiestni škrtiaci ventil. Pary chladiva prichádzajúce z výparníka sa zaškrtia vo ventile, pričom sa zväčší špecifický objem chladiva. Keďže nasávaný objem chladiva kompresorom zostáva konštantný, zníži sa zákonite aj hmotnostný tok. To znamená, že poklesne aj chladiaci výkon, ktorý je priamo úmerný hmotnostnému prietoku chladiva.

Pri radikálnom škrtení vzrastie kondenzačná teplota, ktorá je obmedzená kvôli schopnosti chladiva rozkladať sa pri vyšších teplotách. Táto skutočnosť obmedzuje oblasť použitia tejto regulácie. Napriek tomu sa dá plynulou reguláciou znížiť chladiaci výkon až na 33% celkového chladiaceho výkonu.

Vnútna regulácia škrténím nasávaných pár sa používa predovšetkým pri dvoj a viac valcových kompresoroch s oddelenými hlavami valcov alebo oddelenými sacími komorami.

Pri tejto regulácii sa udržiava tlak vo výparníku na konštantnej hodnote. S klesajúcou teplotou vyparovania klesá pomalšie elektrický príkon kompresora a zároveň s klesajúcim chladiacim výkonom.

Z toho dôvodu je regulácia škrténím nasávaných pár – zjavne – o niečo hospodárnejšia ako regulácia obtokom, ale energeticky je však nevýhodná. [3,9]

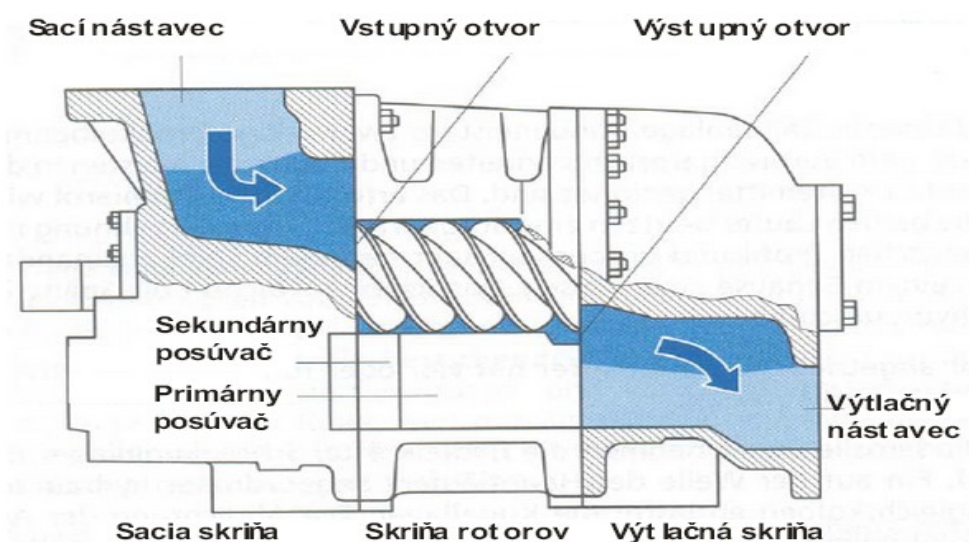
4.2.3 Mechanická regulácia v kompresoroch na strane kompresora

➤ kompresia v skrutkovom kompresore

Pri skrutkových kompresoroch sa otvára vstup a výstup pracovného média nezávisle na tlaku. Proces vstupu a výstupu je nútené riadený vytvorením kanálov pre vstup a výstup a jeho riadiacimi hranami.

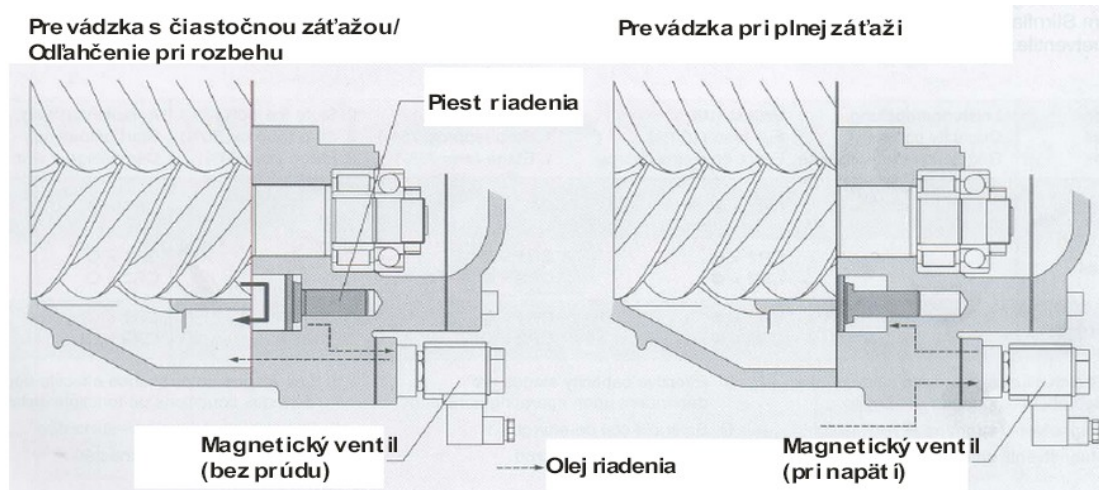
Mieru vnútorného stlačenia definuje geometrické pomerné číslo, ktoré sa všeobecne označuje V_i . Hodnota V_i je pomer vytvorený z objemu pri uhle otáčania rotora „vstup zatvára“ ku objemu vytvorenému pri uhle otáčania rotora „vstup otvára“.

Pri skrutkovom kompresore sa pohybujú vstupné otvory a to z čelnej strany medzier zubov rotorov s veľkou rýchlosťou, takže para chladiva sa musí urýchliť už vo fáze nasávania na obvodovú rýchlosť rotorov. V technickej súčasnej praxi sa pracovné médium urýchľuje na vyššiu vstupnú rýchlosť už v skrini rotorov v nasávacom rozsahu a pred vstupom do medzery medzi zubami. Spôsob regulácie výkonu skrutkového kompresora sa robí v závislosti od dopravovaného výkonu kompresora.



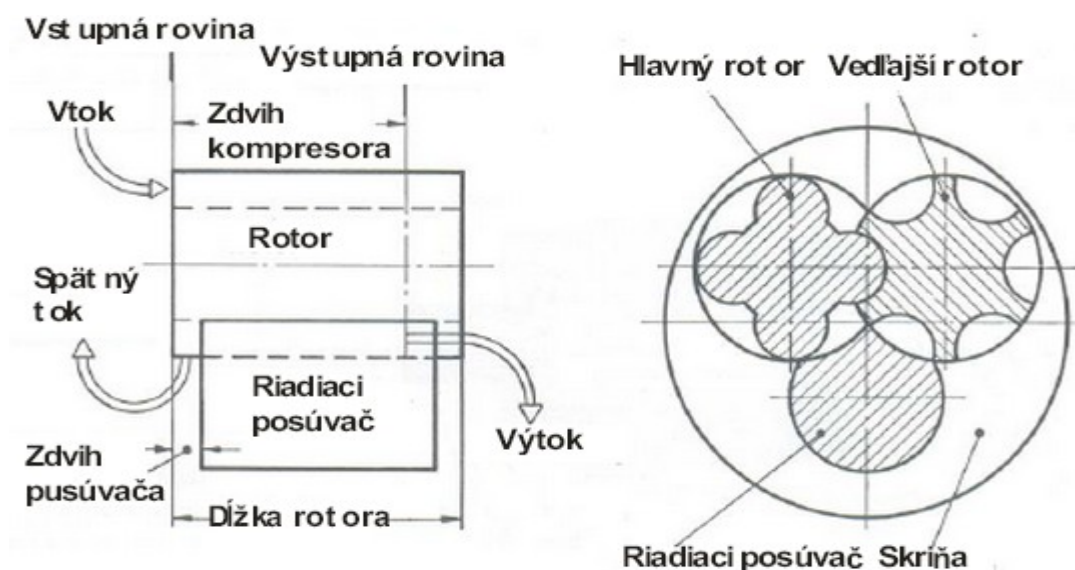
Obr. 36 Schéma skrutkového kompresora so znázornením vstupného a výstupného kanála a posúvačov, pomocou ktorých sa reguluje výkon kompresora[9]

- **Interný bypas** – umožňuje odľahčenie pri štarte a tiež pri čiastočnom zaťažení, vytláčané pary sú vedené cez riadiaci ventil späť do sania. Ide o marenie energie. Tento spôsob má i ďalšie nevýhody, najmä zvýšené tepelné namáhanie.
- **Riadiace piesty** – regulujú aktívnu dĺžku skrutiek, čím regulujú nasávané množstvo pár. Účinnosť je vyššia.

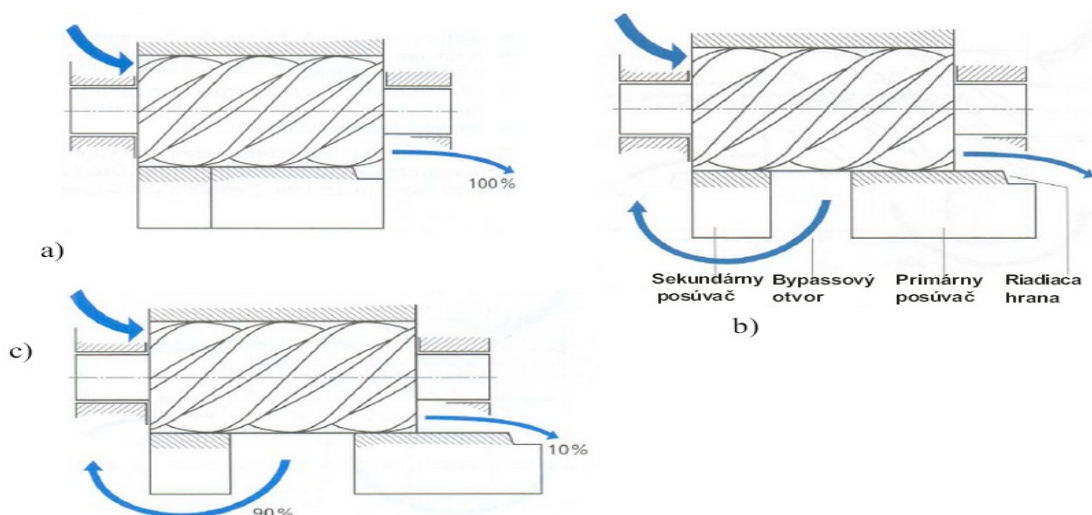


Obr. 37 Konštrukčné riešenie regulácie malého a stredného výkonu skrutkového kompresora pomocou riadiacich piestov [9]

- **Riadiace posúvače** – používajú sa pre väčšie kompresory a majú možnosť pripojenia na ekonomizér. Regulujú aktívnu dĺžku skrutiek posúvačom, ktorý môže byť ovládaný stupňovito (100-75-50-25%) i plynule (100-25%) tlakom oleja na piest posúvača. Tlakový olej je prepúšťaný na piest posúvača solenoidnými ventilmi.



Obr. 38 Schéma regulácie dopravovaného množstva pomocou riadiaceho posúvača [9]



Obr. 39 Regulácia chladiaceho výkonu posúvačom [9]

a) Maximálna poloha pri regulovanom chladiacom výkone

b) Tok chladiva pri prevádzke s čiastočnou záťažou

c) Minimálna poloha pri regulovanom chladiacom výkone.

4.2.4 Regulácia zmenou otáčok

Objemový prietok je úmerný otáčkam kompresora respektíve motora. Regulácia otáčok je najhospodárnejším spôsobom regulácie prietokového množstva kompresora. Znížením otáčok poklesne objemový prietok a zároveň aj chladiaci výkon a príkon motora. Stratový výkon spôsobený trením klesne úmerne s počtom otáčok. So znížením počtu otáčok bude zaťaženie hnacieho zariadenia menšie, pretože aj rýchlosti plynu cez ventily sú menšie. V dôsledku toho poklesnú tlakové straty ako aj indikovaný výkon. Nevýhodou môže byť mierne zhoršená účinnosť motora pri malých otáčkach.

- Prevodom medzi motorom a kompresorom. Plynule regulovateľný remenicový prevod umožňuje zmenu otáčok napríklad v rozsahu $500 - 1800 \text{ min}^{-1}$. Používa sa v otvorených kompresoroch.
- Stupňovitá regulácia – pri malých výkonoch do 20 kW je možné použiť s prepólovacími motormi. Motory zapojené podľa Dahlanderovho princípu dovoľujú reguláciu na 100% a 50%, pričom sú najčastejšie volené otáčky 1500 min^{-1} (štvorpólové) pre frekvencie $f=50\text{Hz}$.
- Plynulá regulácia otáčok:
 - ❖ Meniče frekvencie prerušili závislosť priameho pripojenia otáčok kompresora do frekvencie siete. Optimálne regulovaný invertorový pohon s frekvenciami v rozsahu 15 až 150 Hz, čo zodpovedá otáčkam 900 až 9000

min^{-1} umožňuje zvýšiť i znížiť chladiaci výkon v hospodárnej oblasti v rozsahu 20 až 100%. Je vhodný najmä pre rotačné kompresory, bezventilové kompresory typu Skrol, skrutkové kompresory, ale aj kompresory s odvažujúcim sa piestom, ktoré majú len jeden a to výtláčny ventil.

- ❖ Zmena otáčok znížovaním napätia si vyžaduje zvláštne motory. Znížením napájacieho napätia klesá krútiaci moment. Tým stúpajú sklzové a klesajú efektívne otáčky. Motor sa môže prehrievať.

Zníženie napätia sa dosiahne pomocou:

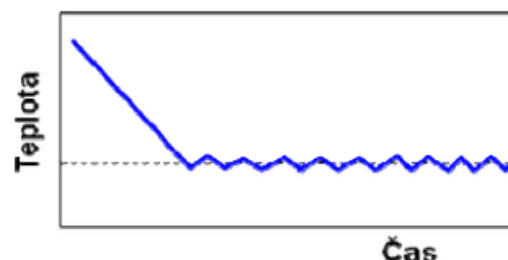
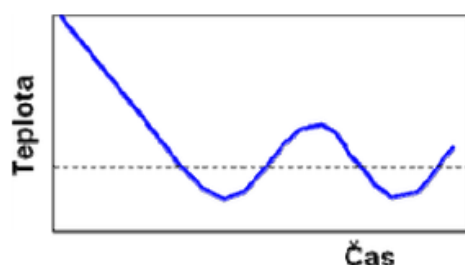
- regulačných transformátorov
- fázového obmedzovania (triakové alebo tyristorové regulátory)

Výhodami elektromotorového pohonu chladiarenských kompresorov s frekvenčným meničom sú:

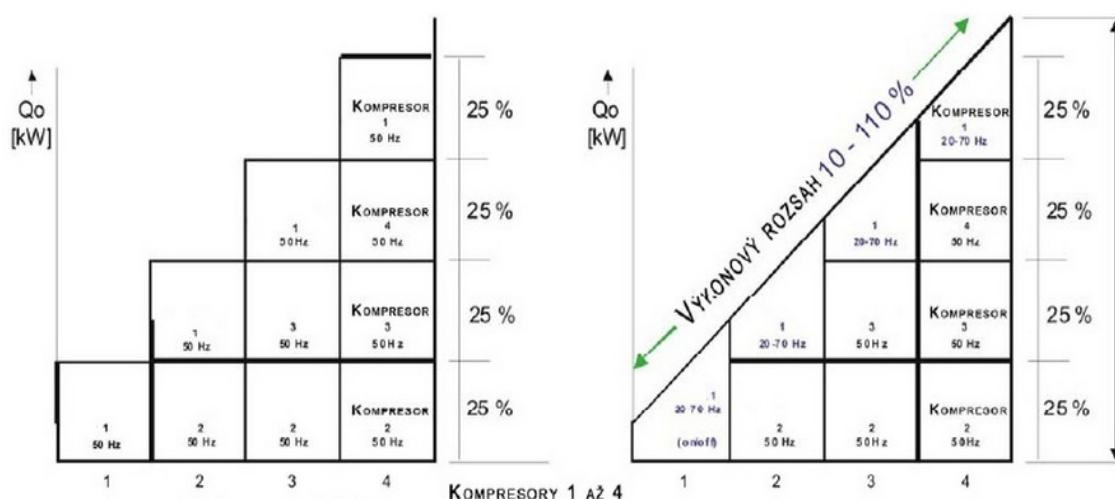
- Úspora energie presným výkonovým prispôbením na skutočnú potrebu chladenia a tým aj menší počet zapínaní ako aj stabilná prevádzka.
- Mäkký rozbeh a menší nábehový prúd.
- Menší teplotný rozdiel vo výmenníkoch tepla pri čiastočnom zaťažení a tým aj vyššie výkonové číslo.
- Používanie menších kompresorov, ktoré pracujú so zvýšenými otáčkami len pri špičkovej spotrebe; nie je potreba mať v rezerve ďalší kompresor; nižšie investičné náklady (vzťahujúce sa na kompresor) [3,9]

Tab. 20 Porovnanie rôznych druhov regulácie vzhľadom na potrebný príkon a účinnosť regulácie [9]

Forma regulácie	Pre reguláciu potrebný príkon [%] pri 50 % chladiacej požiadavke	Účinnosť regulácie
Regulácia otáčok (<i>ideál</i>)	50	1,0
Regulácia otáčok digitálna	50	1,0
Regulácia zapínaním a vypínaním	53	0,95
Regulácia otáčok prepólovaním elektromotora	53,5	0,94
Variácia spätného expanzného objemu alebo zdvihu piesta	53 ... 55	0,95 ... 0,92
Odstavenie valca zablokovaním nasávacieho ventilu	58	0,86
Odpojenie kompresora elektromagnetickou spojkou	59	0,85
Obtoková regulácia	100	0,5



Obr. 40 Naľavo priebeh teploty reguláciou ON/OFF. Napravo s regulovanými otáčkami kompresora [9]



Obr. 41 Naľavo regulácia výkonu pripájaním kompresorov. Napravo aj s regulovanými otáčkami [9]

Kompresory riadené frekvenčným meničom poskytujú svojim užívateľom radu výhod oproti kompresorom s klasickým chodom.

➤ **plynulá regulácia výkonu**

Pomocou regulácie otáčok elektromotora, dokáže kompresor regulovať aj množstvo dodávaného vzduchu pri konštantne udržiavanej tlakovej hladine. Kompresorová stanica je takto schopná veľmi efektívne pokrývať aj znížené spotreby vzduchu (napr. počas víkendov). Kompresor dodáva v každom momente práve toľko vzduchu, koľko je potrebné. Hranice regulácie sa pohybujú od 30% - po 100% výkonnosti kompresora.

➤ **úspora nákladov na elektrickú energiu od 20% ročne**

Veľmi podstatnou charakteristickou črtou kompresorov s reguláciou výkonu je absencia chodu na prázdno (voľnobeh). Voľnobežný chod je pre kompresory s klasickou reguláciou nevyhnutným prvkom. Pomer chodu v plnej záťaži a voľnobehu je zvyčajne asi 70% ku 30%. Treba zdôrazniť, že chod na prázdno je vlastne čistá jalová energia, pri ktorej kompresor nevyrobí ani kubík stlačeného vzduchu. Kompresory riadené frekvenčným meničom dokážu preto veľmi efektívne kopírovať krivku spotreby stlačeného vzduchu v každom momente a ich celoročná spotreba elektrickej energie je od 20% menšia ako u klasických kompresorov.

➤ **predĺženie životnosti kompresora**

Frekvenčný menič zabezpečuje aj tzv. soft štart, čo znamená postupný nábeh elektromotora pri štarte. Klasické kompresory sú zvyčajne štartované pomocou systému hviezda - trojuholník, kde dochádza k 2 až 3-násobnému prepätiu v momente nábehu elektromotora. Rázovité štarty tak pôsobia neblaho na ložiská elektromotora a skrutkového bloku. Kompresory vybavené frekvenčným meničom majú dlhšiu dobu životnosti pohyblivých častí elektromotora a skrutkového bloku.

5 Súčasný stav analyzovaných kompresorov

Základom každej predikcie prognózy úbytkovej životnosti je objektívna znalosť technického stavu sledovaného objektu s čo najvyššou istotou rozhodnutia. Preto sme previedli na vytipovaných strojných zariadeniach multiparametrickú diagnostiku. Tento multiparametrický prístup umožňuje odhaliť poškodenia nezistiteľné len jednou meracou diagnostickou metódou a tým zvýšiť istotu rozhodnutia o technickom stave so všetkými pozitívami.

Pre detekciu poškodení sme zvolili danú kombináciu bezdemontážnej technickej diagnostiky:

vibrodiagnostika + tribodiagnostika + termodiagnostika

5.1 Termodiagnostika

Termodiagnostiká metóda je založená na meraní teploty povrchu telies a spočíva vo využívaní teploty ako diagnostického parametra charakterizujúci určitý stav objektu. V praxi sa k tomu využívajú, ako hodnoty ustálených teplôt (stredná hodnota, efektívna hodnota), tak hodnoty časovo premenlivých teplôt (okamžitá hodnota, frekvenčné spektrum). Termodiagnostika sa využíva tam, kde vznikajúce poruchy stroja alebo zariadenia spôsobujú zvýšenie pasívnych strát, zníženie účinnosti alebo vytvorenie nového tepelného zdroja. Teplotu je možné merať priamo v jednotlivých miestach, tj. bodovo, pomocou dotykových a bezdotykových teplomerov. V prípadoch kedy nie je možné použiť dotykové prístroje je možné teplotu merať pomocou termografie. Diagnóza je stanovená na základe porovnania nameraných teplôt s bežnými prevádzkovými hodnotami. Touto metódou je možné presnejšie lokalizovať miesto, kde je zvýšená teplota vplyvom trenia alebo nadmerného opotrebenia stroja. Typickým príkladom je zvýšenie teploty ložísk vplyvom degradačných procesov. [14]

5.1.1 Princíp merania

Termokamera sníma tepelné žiarenie z povrchu sledovaného objektu z určitej vzdialenosti a pod určitým uhlom o vlnovej dĺžke a tento tepelný tok vizualizuje do určitého farebného spektra. Do objektívu kamery prichádza žiarenie z troch zdrojov a to žiarenia z povrchu objektu snímaného, žiarenie okolia odrazeného snímaným povrchom a žiarenia prostredia medzi snímaným povrchom a kamerou. Prenos tepla radiáciou sa nachádza v rozsahu vlnových dĺžok 8 - 14 μm a je závislé na emisivite povrchu telesa.

Väčšina bežných povrchov je šedých s emisivitou menšou než 1. Emisivita je miera vyžarovania z povrchu telies. Materiály s čiernymi povrchmi majú vysokú emisivitu, materiály s lesklým povrchom naopak nízku. Pre správny prevod radiačnej energie na teplotu je nutné zohľadniť teplotu pozadia a uhol snímania od kolmice min. 45° . V praxi sa nepresnosti merania eliminujú napríklad metódou známej teploty zdroja, čo znamená pomocným dotykovým lokálnym meraním povrchových teplôt s náväznosťou na úpravu parametrov merania v prístroji. Termokamera teplotu povrchu nemeria, ale na základe intenzity infračerveného žiarenia ju vypočítava. [14]

Výhody a nevýhody bezdotykového merania teploty

Ako každá metóda má aj bezdotykové meranie teploty celú radu výhod, ale tiež nevýhod. K hlavným výhodám bezdotykového merania prispievajú tieto skutočnosti:

- Vplyv meracích prístrojov na meraný objekt je zanedbateľný, tzn. Z meraného objektu nie je odoberaná tepelná energia, to je výhodné predovšetkým u materiálov, ktoré zle vedu teplo (drevo, plast).
- Pri meraní nedochádza k mechanickému opotrebeniu snímača ani snímaného objektu
- Vďaka nepriamemu kontaktu čidla prístroja a povrchu meraného telesa sa dajú merať teploty pohybujúcich sa objektov.
- Bezkontaktnými prístrojmi je možné merať veľmi vysoké teploty (3000°C), ale tiež zachytiť veľmi rýchlo prebiehajúce teplotné zmeny (reakcie na zmeny teploty rádovo v milisekundách).
- V neposlednej rade umožňujú merať a spracovávať teploty povrchov objektov väčších rozmerov.

Nevýhody týchto meradiel sú väčšinou spojené s neznalosťou teórie bezdotykového merania a s chybným nastavením podmienok merania.

- K najčastejším chybám pri meraní bezdotykovými prístrojmi dochádza na základe neznalosti správnej hodnoty emisivity povrchu telesa a následného chybného nastavenia prístroja. Meraný objekt môže byť lesklý, drsný, farebný, čierny alebo tiež priehľadný, pričom každá z týchto vlastností sa pri meraní uplatňuje rozdielne.
- Podstatnú úlohu hra priepustnosť prostredia medzi čidlom a meraným objektom. Transformácia žiarenia môže byť spôsobená absorpciou aj rozptylom

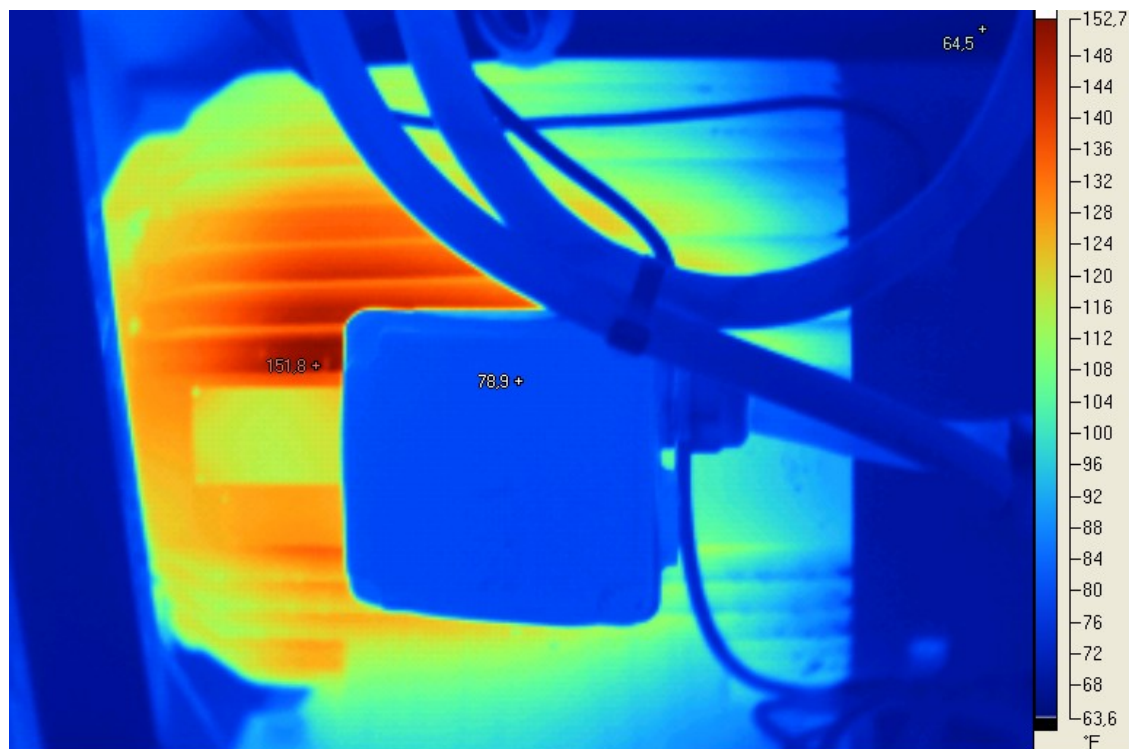
infračerveného žiarenia na molekulách plynu, kvapkách vody, časticiach dymu atd.

- Na meranie má vplyv tiež rušivé žiarenie z okolia. Teplota vonkajšieho prostredia ovplyvňuje veľkosť detekovaného infračerveného žiarenia a rovnako aj jeho kolísanie.
- Ďalšie chyby sú spôsobené nedodržaním optického rozlíšenia určeného výrobcom alebo chybným zameraním objektu. Meraný objekt musí úplne vyplňovať zorné pole, inak je meraná hodnota ovplyvnená i žiarením okolitých plôch (pozadia).

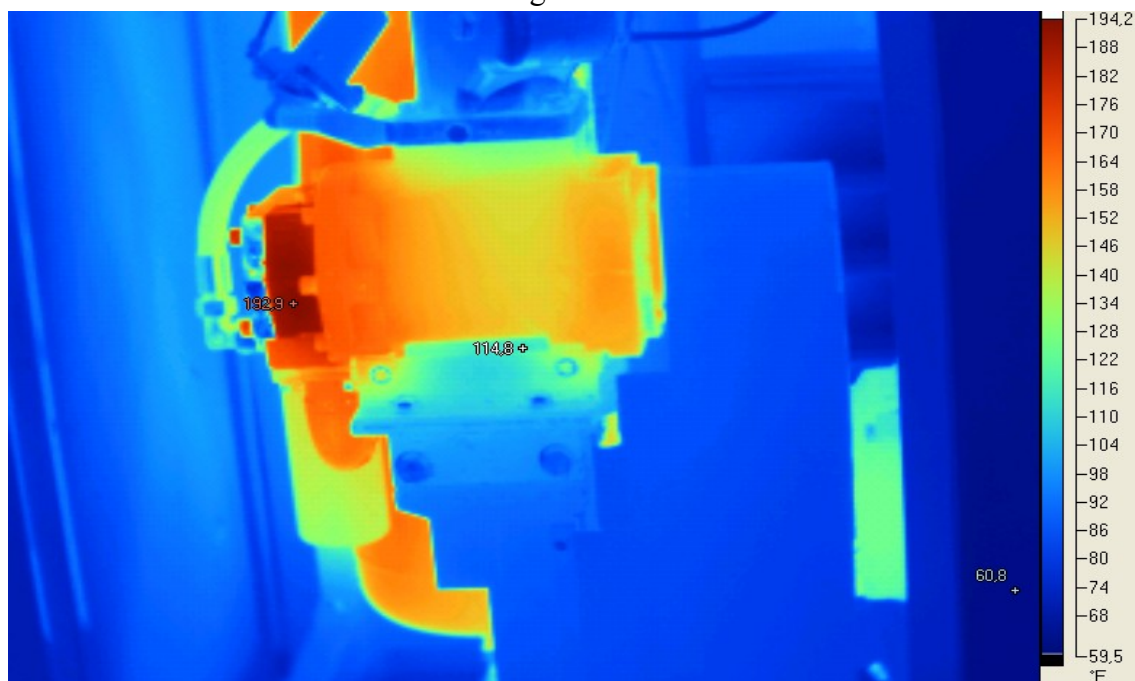
Všetky tieto nedostatky spôsobujú menšie či väčšie chyby v meraní, ktorých je nutné sa vyvarovať. Dôležité je brať ohľad na fakt, že infračervené meranie teploty je založené na optickom meraní a preto majú optické vlastnosti pyrometra veľký, ale často podceňovaný vplyv na výsledky merania. Použitá optika musí byť kvalitná, antireflexívna a mala by byť správne korigovaná pre celý spektrálny rozsah pyrometra. Chyba predpísaná výrobcom pyrometra sa môže vďaka znečistenej optike, starnutiu detektora alebo odchýlke teploty prístroja od menovitej hodnoty mnohonásobne zvýšiť. Preto je nutné prístroje kontrolovať a pravidelne kalibrovať. [14]

5.1.2 Termografické meranie strojných zariadení

Prvé termografické meranie sme previedli na skrutkovom kompresore typu **ATMOS SE440**. Kompresor má frekvenčný menič, ktorý zaisťuje rozbeh a zmenu otáčok hlavného elektromotora. Zaťaženie kompresora pri meraní bolo 87%.

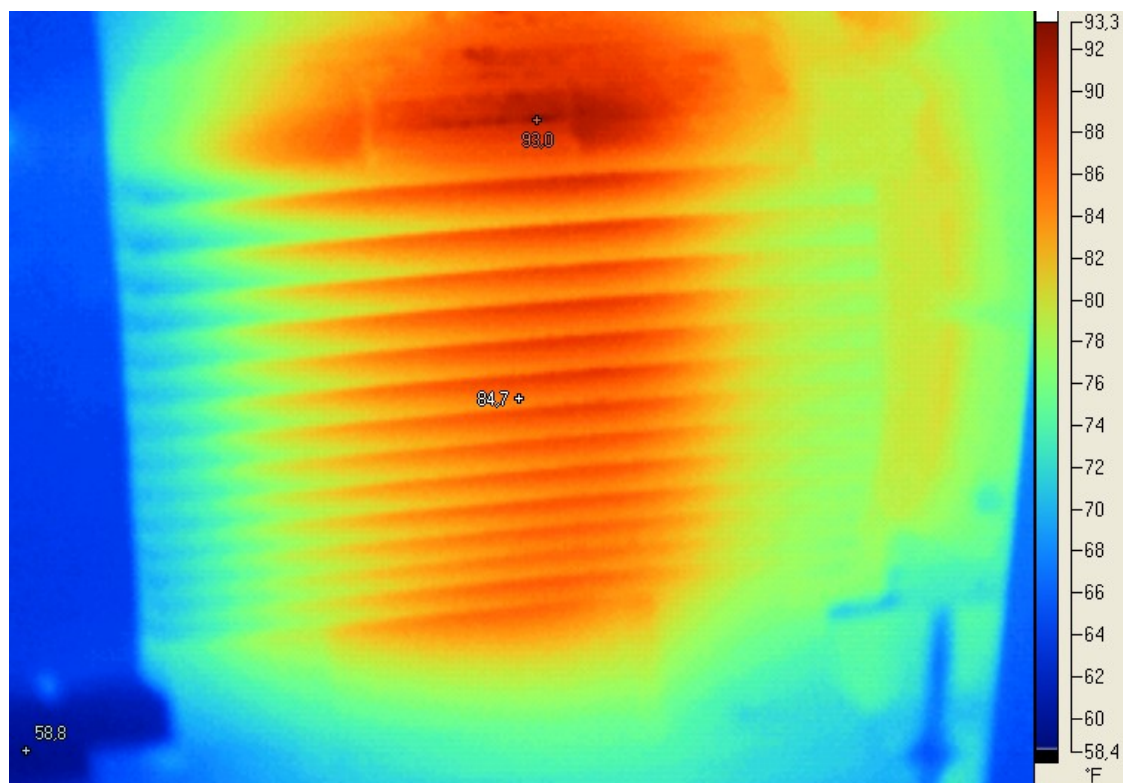


Obr. 42 Termogram - motorová časť

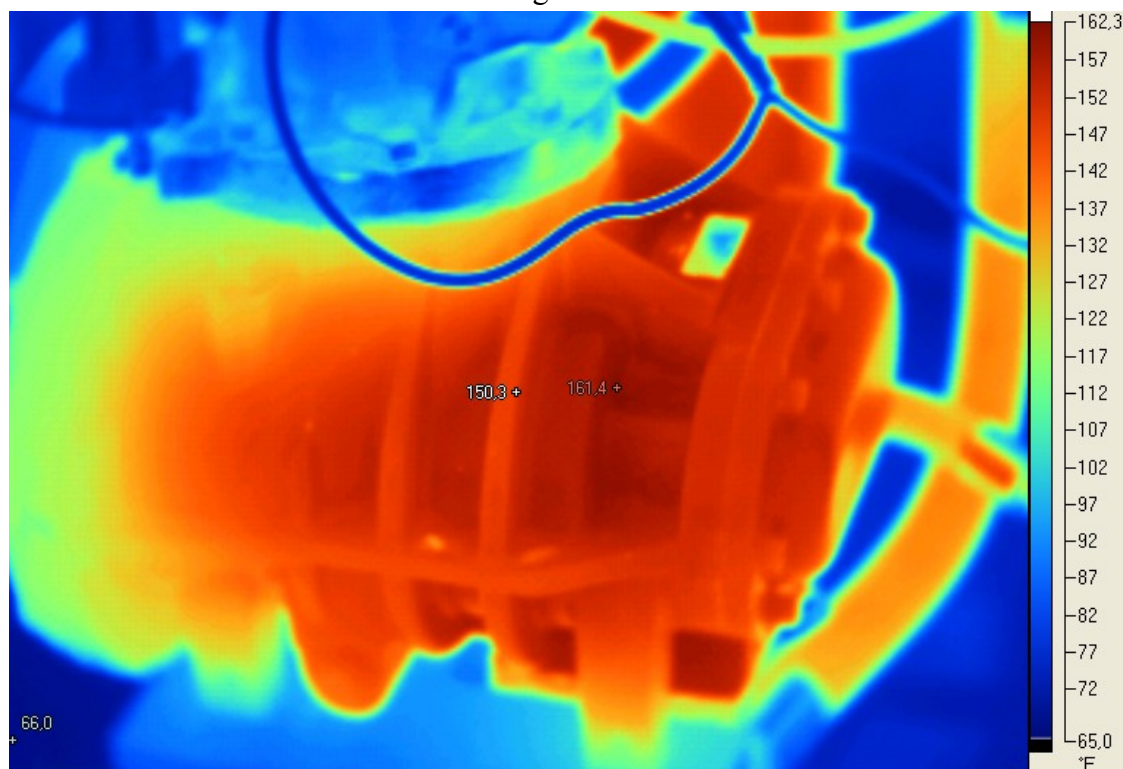


Obr. 43 Termogram – kompresorová časť

Druhy skrutkový kompresor typu **SEC- 750 VARIO** má tiež frekvenčný menič a pri meraní pracoval so záťažou 32,6 %.

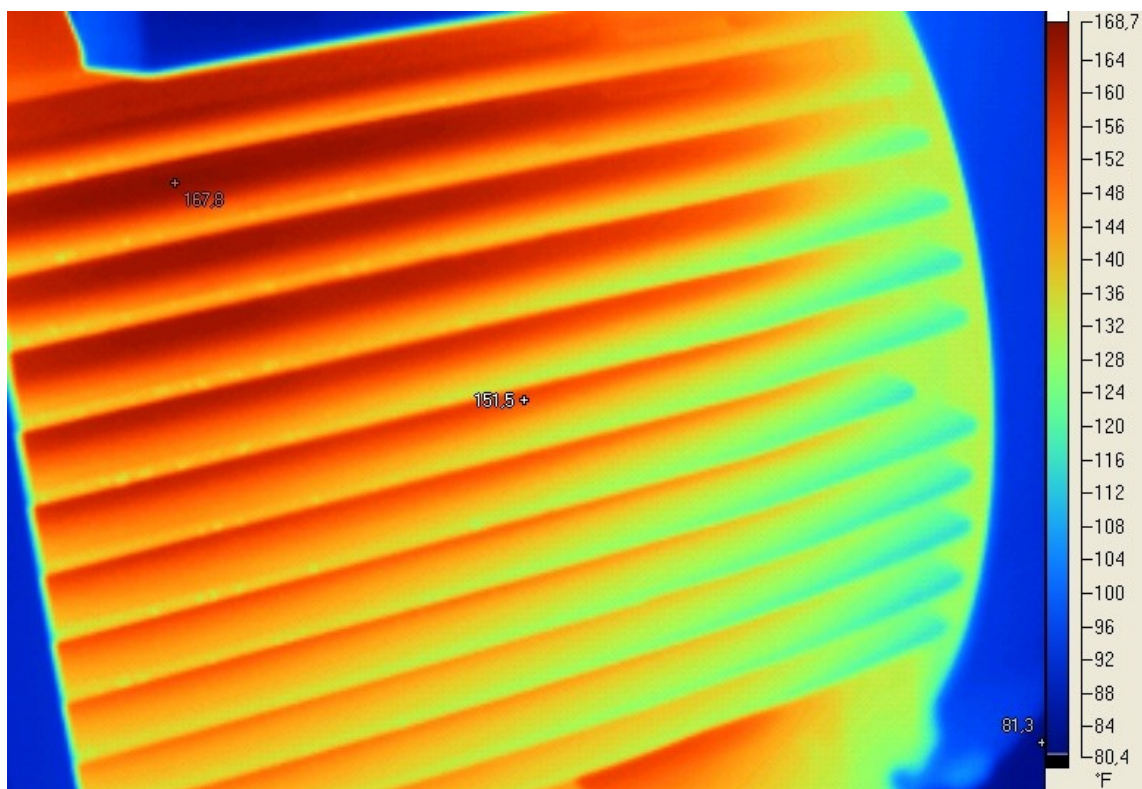


Obr. 44 Termogram - motorová časť

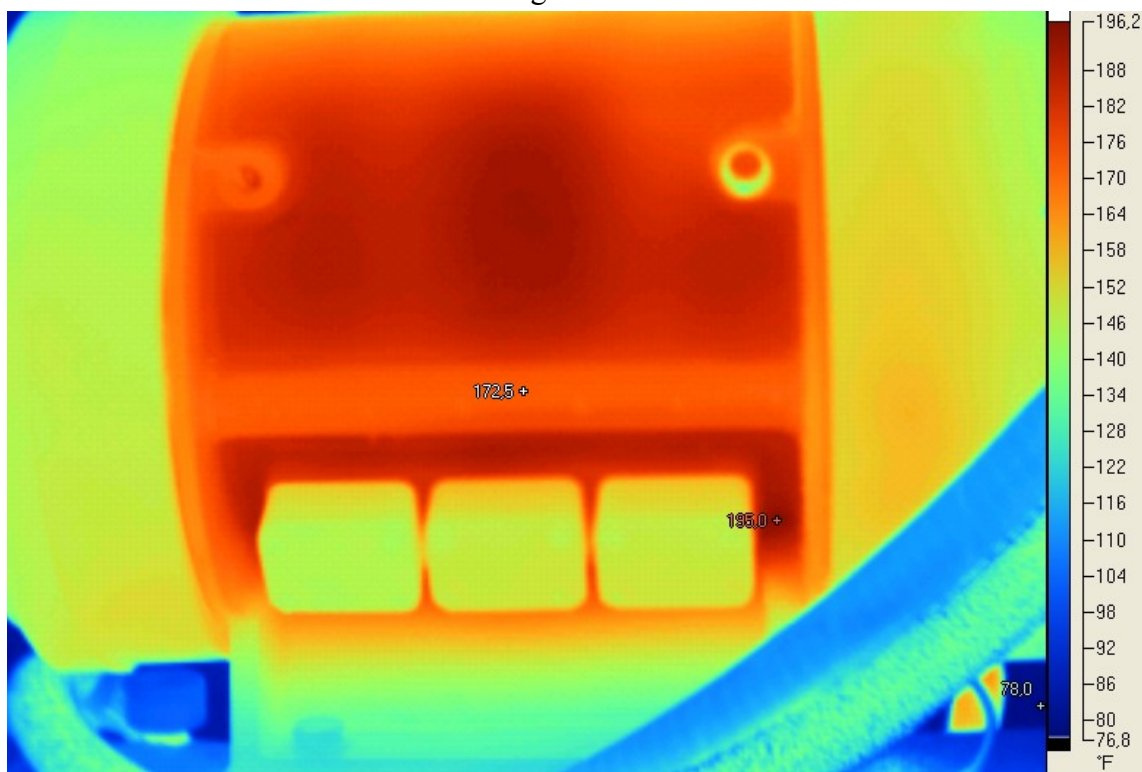


Obr. 45 Termogram – kompresorová časť

Ako posledný termograficky meraný kompresor je hydrolamelový kompresor typu **HV 75**. Pri meraní pracoval so záťažou 90%.



Obr. 46 Termogram - motorová časť



Obr. 47 Termogram – kompresorová časť

Cieľom nasadenia termodiagnostiky je snaha o priebežné monitorovanie chodu stroja, zisťovania zmien na prevádzkovanom zariadení a odhaľovanie vznikajúcich porúch. Následne potom predikcia jeho medzného prevádzkového stavu. Správnym stanovením termínu opravy sa dá vyhnúť neočakávanej odstávke zariadenia a zamedziť veľkým finančným stratám, ktoré by táto odstávka spôsobila. K určeniu technického stavu stroja a prípadných porúch je nutné mať dobré teoretické znalosti nie len o problematike termodiagnostiky, ale tiež o meranom zariadení. Dôležitá je tiež znalosť funkcie a technológia prevádzky zariadení.

Kontrolné termodiagnostické meranie, ktoré sme previedli na kompresoroch spoločnosti Bochemie a.s. nevykazujú žiadne teplotné anomálie. Vzhľadom k nepretržitej prevádzke kompresorov SEC – 750 VARIO, ATMOS SE440 a HV 75 doporučujem pravidelnú kontrolu raz za pol roka. Termíny kontroly stanoviť tak, aby sledovali rozdiely prevádzkových teplôt zariadení v chladných zimných mesiacoch a teplých letných mesiacoch. Ak by nebolo možné kontrolovať zariadenie v navrhovaných intervaloch či už z finančných alebo iných dôvodov, bolo by vhodné nainštalovať teplotné čidlá s vyhodnocovaním, aby sa dali priebežne kontrolovať vstupné a výstupné hodnoty teplôt olejových náplní.

5.2 Vibrodiagnostika

Prevádzka všetkých strojov a technických zariadení sú takmer vždy sprevádzané mechanickým chvením, ktorým sa v praxi nejde vyhnúť. Mechanické kmitanie je zapríčinené dynamickými silami, ktoré sú spôsobené hlavne pohonom, vôľami pohyblivých častí, opotrebením, nevyváženosťou, razmi atd. Vibrodiagnostika využíva vibrácie ako diagnostický parameter, ktorý nám umožňuje nie len objektívne posúdiť technický stav rotujúcich strojov a tiež častí stojov, ktoré sú na ne viazané, ale tiež nám umožňuje zabráňovať vzniku rezonanciám pri prevádzke. Včasná detekcia novej poruchy umožní strategické plánovanie nápravných opatrení. [10,11]

5.2.1 Meracia technika

K meraniu vibrácií sme použili meraciu techniku od firmy Adash, konkrétne analyzátor Adash-VA4Pro s trojosým akcelerometrom (s magnetickým uchytением). K nasledujúcemu vyhodnoteniu nameraných dát bol použitý software Adash DDS.



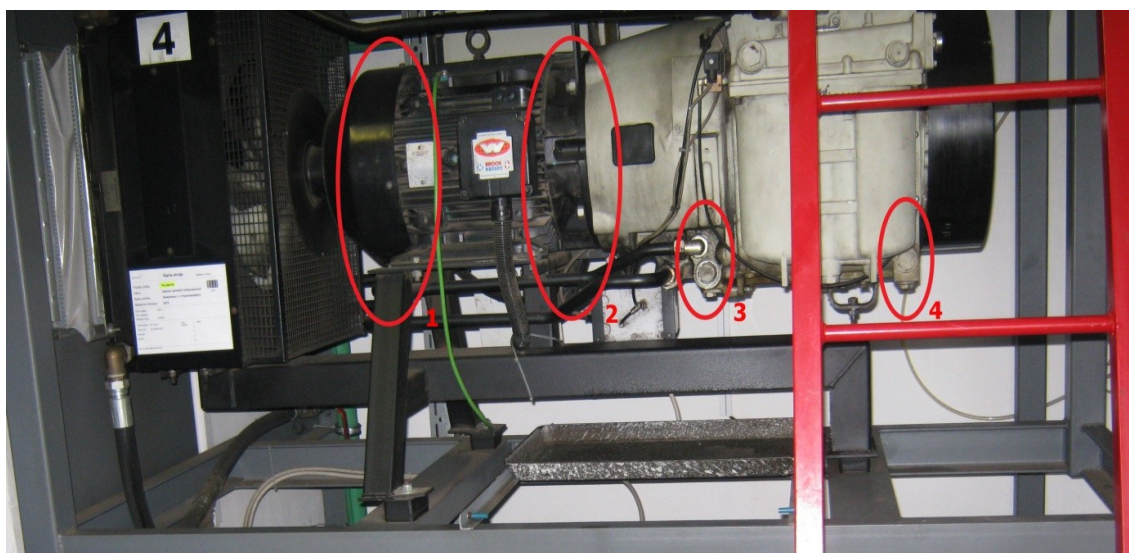
Obr. 48 Analyzátor Adash A4400-VA4Pro [12]

5.2.2 Voľba meracích bodov

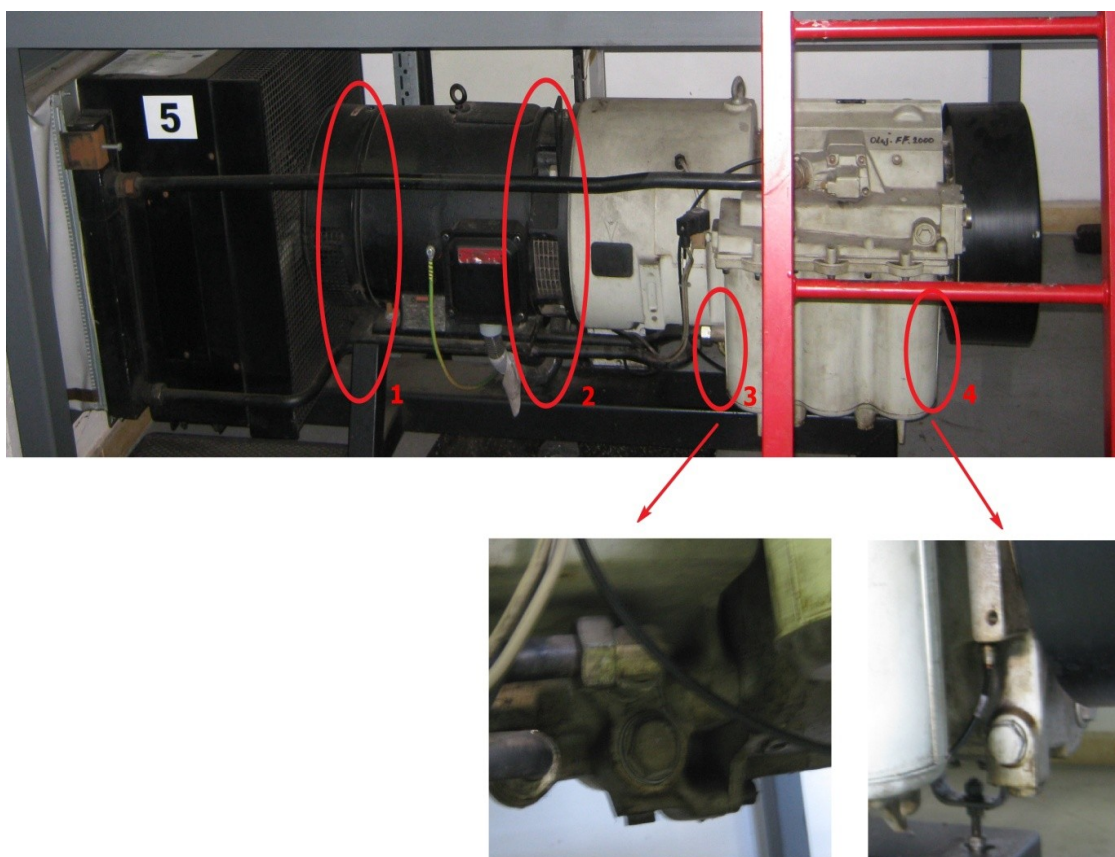
Prvým krokom merania bola voľba meracích bodov na strojných zariadeniach. Meracie body na kompresorov SEC – 750 VARIO, ATMOS SE440 a HV 75 už boli zvolené firmou zaoberajúcou sa technickou diagnostikou. Pre porovnanie technického stavu sme použili rovnaké body. Na hydrolamelových kompresorov 822 PUAS a 830 PUAS sme meracie body navrhli tak, aby sme boli schopní dostať informácie o celkovom chovaní zariadenia. Z týchto bodov sme dostali referenčné spektrum, ktoré môže byť neskôr použité ako porovnanie s ďalšími meraniami.

5.2.3 Umiestnenie meracích bodov

Meracie body kompresorov SEC – 750 VARIO, ATMOS SE440 a HV 75 sú naznačené na schémach v kapitole 3. Umiestnenie meracích bodov lamelových kompresorov 822 PUAS a 830 PUAS sú vyznačené na obr. 49 a 50.



Obr. 49 Miesta snímania vibrácií kompresora 822 PUAS



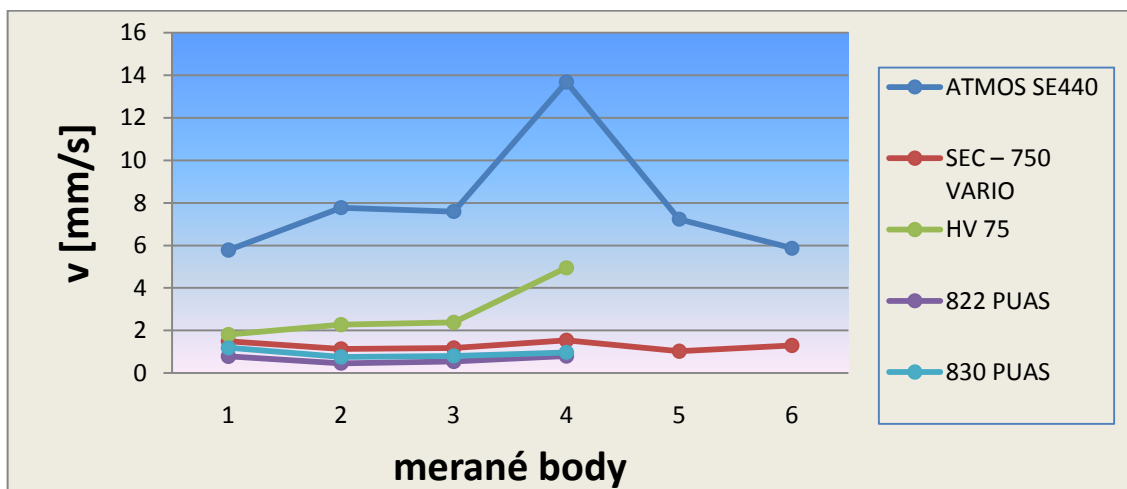
Obr. 50 Miesta snímania vibrácií kompresora 830 PUAS

5.2.4 Výsledky meraní

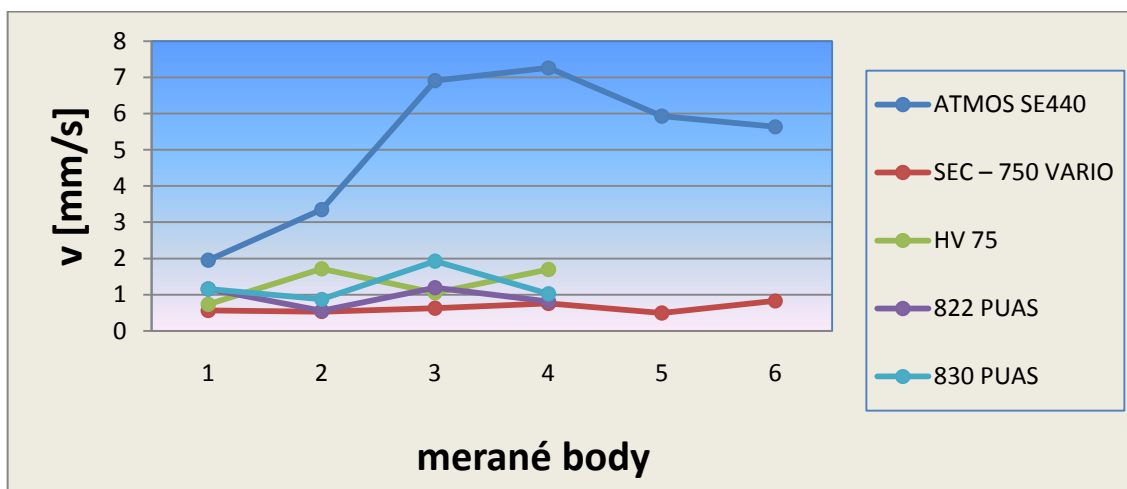
Pre lepšiu predstavu sú uvedené všetky namerané hodnoty RMS kompresorov, **ATMOS SE440, SEC – 750 VARIO, HV 75, 822 PUAS, 830 PUAS.**

Tab. 21 Namerané hodnoty RMS

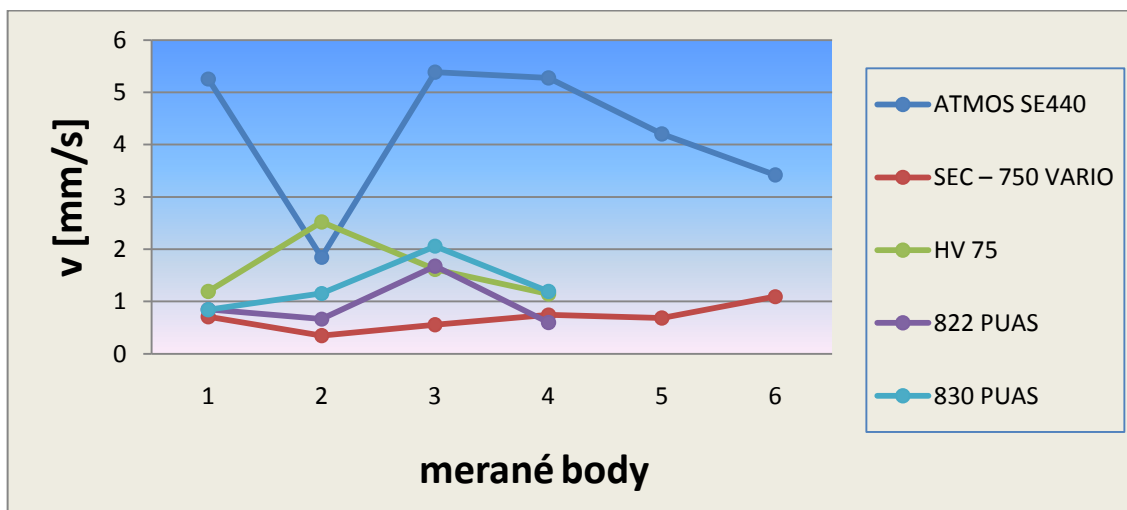
ATMOS SE440						
body	1	2	3	4	5	6
RMS [mm/s] vo vertikálnom smere	5,778	7,775	7,595	13,685	7,235	5,866
RMS [mm/s] v horizontálnom smere	1,954	3,349	6,911	7,259	5,928	5,632
RMS [mm/s] v axiálnom smere	5,254	1,845	5,385	5,274	4,202	3,422
SEC – 750 VARIO						
body	1	2	3	4	5	6
RMS [mm/s] vo vertikálnom smere	1,492	1,139	1,178	1,54	1,022	1,297
RMS [mm/s] v horizontálnom smere	0,56	0,532	0,625	0,755	0,496	0,825
RMS [mm/s] v axiálnom smere	0,707	0,347	0,554	0,743	0,685	1,092
HV 75						
body	1	2	3	4		
RMS [mm/s] vo vertikálnom smere	1,806	2,271	2,384	4,95		
RMS [mm/s] v horizontálnom smere	0,732	1,714	1,052	1,693		
RMS [mm/s] v axiálnom smere	1,192	2,522	1,612	1,142		
822 PUAS						
body	1	2	3	4		
RMS [mm/s] vo vertikálnom smere	0,786	0,461	0,545	0,801		
RMS [mm/s] v horizontálnom smere	1,159	0,556	1,19	0,815		
RMS [mm/s] v axiálnom smere	0,847	0,664	1,676	0,599		
830 PUAS						
body	1	2	3	4		
RMS [mm/s] vo vertikálnom smere	1,186	0,751	0,808	0,973		
RMS [mm/s] v horizontálnom smere	1,154	0,869	1,924	1,023		
RMS [mm/s] v axiálnom smere	0,845	1,153	2,058	1,193		



Obr. 51 Porovnanie RMS vo vertikálnom smere

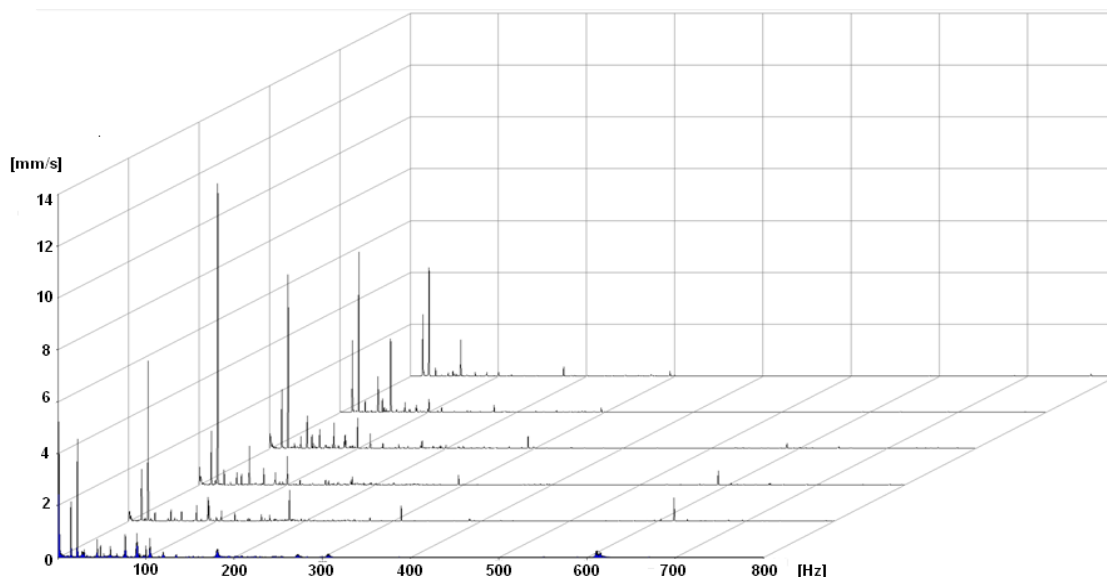


Obr. 52 Porovnanie RMS vo horizontálnom smere

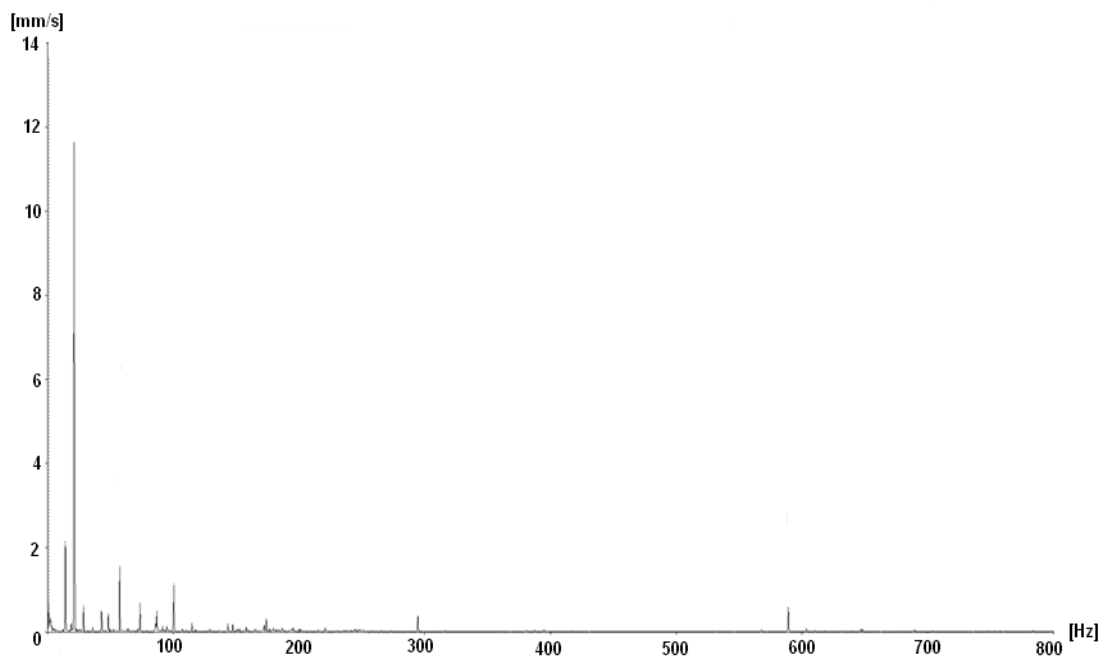


Obr. 53 Porovnanie RMS v axiálnom smere

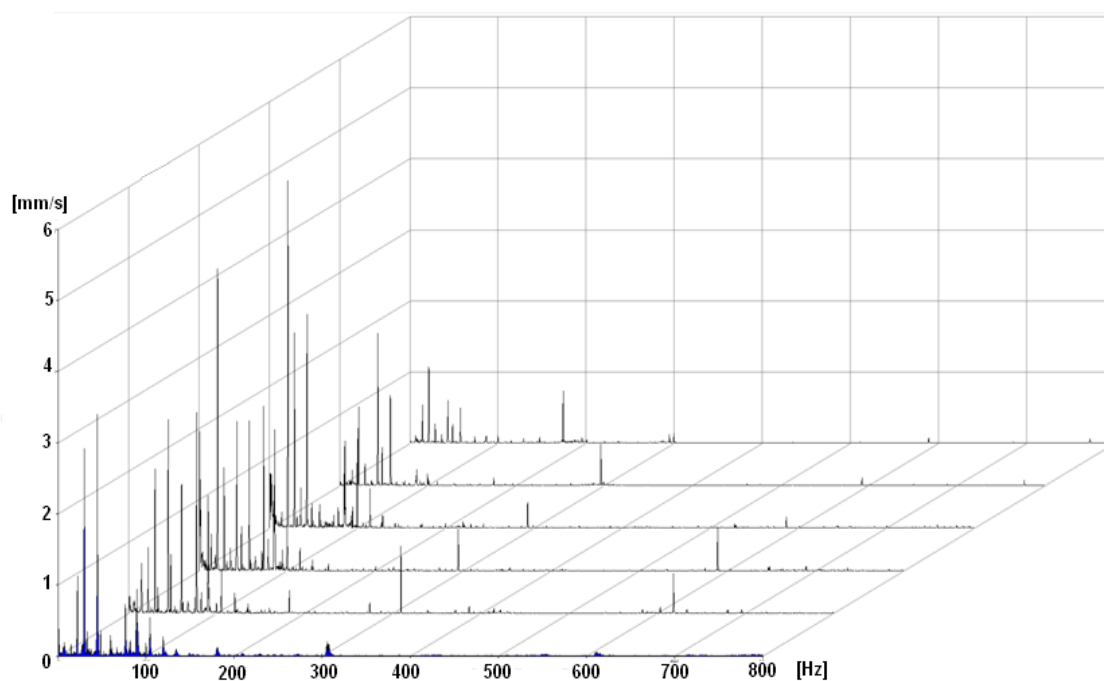
Porovnaním grafov (Obr. 51.-53.) je zjavné, že hodnoty RMS u skrutkového kompresora ATMOS SE 440 vo všetkých troch smeroch sú veľmi vysoké. Vo vertikálnom smere bola na štvrtom meracom bode nameraná hodnota, ktorá dosahovala až 13,685 mm/s. Tato hodnota je tak vysoká, že podľa normy ISO 10 816-3 nespadá do škály hodnotenia technického stavu. U tohto kompresora sa veľká energia vibrácii prenáša aj v horizontálnom a axiálnom smere. Vibrácie v horizontálnom smere dosahujú až 7,259 mm/s, tieto vibrácie sa radia do pásma D. Jedna sa opäť o tak veľké vibrácie, že môžu spôsobiť ďalšie poškodenie stroja. V axiálnom smere boli tiež namerané zvýšené hodnoty vibrácii. Jedna sa hlavne o body jedna, tri a štyri kde vibrácie prekračujú 5,2 mm/s. Tieto hodnoty norma radí stále do pásma D. Skrutkový kompresor SEC – 750 VARIO a lamelové kompresory 822 a 830 PUAS sú vo výbornom stave a norma ich radí do pásma A, čo znamená neobmedzenú a dlhodobú prevádzku. Posledný analyzovaný kompresor je lamelový typu HV 75. U tohto kompresora je zvýšená hodnota vibrácii len vo vertikálnom smere a to v bode štyri. Toto môže byť spôsobené uvoľnenými skrutkami na rámu alebo závadou na konštrukcii zariadenia. Pre zaujímavosť je vhodné priložiť frekvenčné spektra z tých bodov, ktoré vykazovali najväčšie RMS v jednotlivých meraciach smeroch. Vzhľadom k tomu, že najväčšie hodnoty boli dosahované na skrutkovom kompresore ATMOS SE 440, budú teda všetky poukazované frekvenčné spektra z tohto zariadenia. [15]



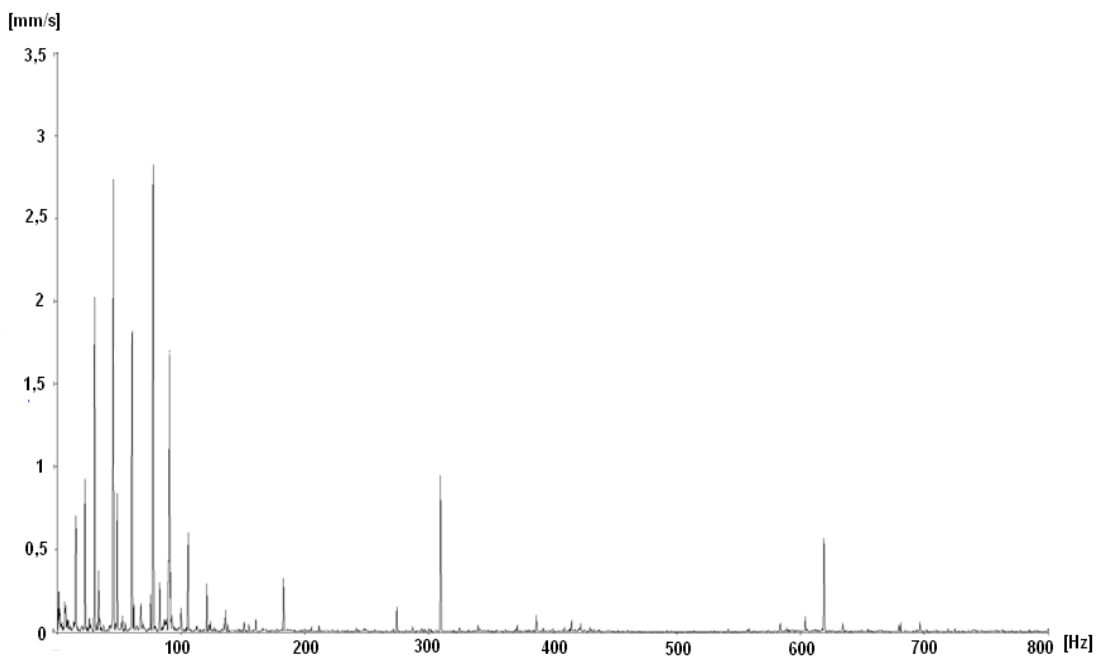
Obr. 54 Frekvenčné spektrum všetkých meraných bodov z vertikálneho smeru



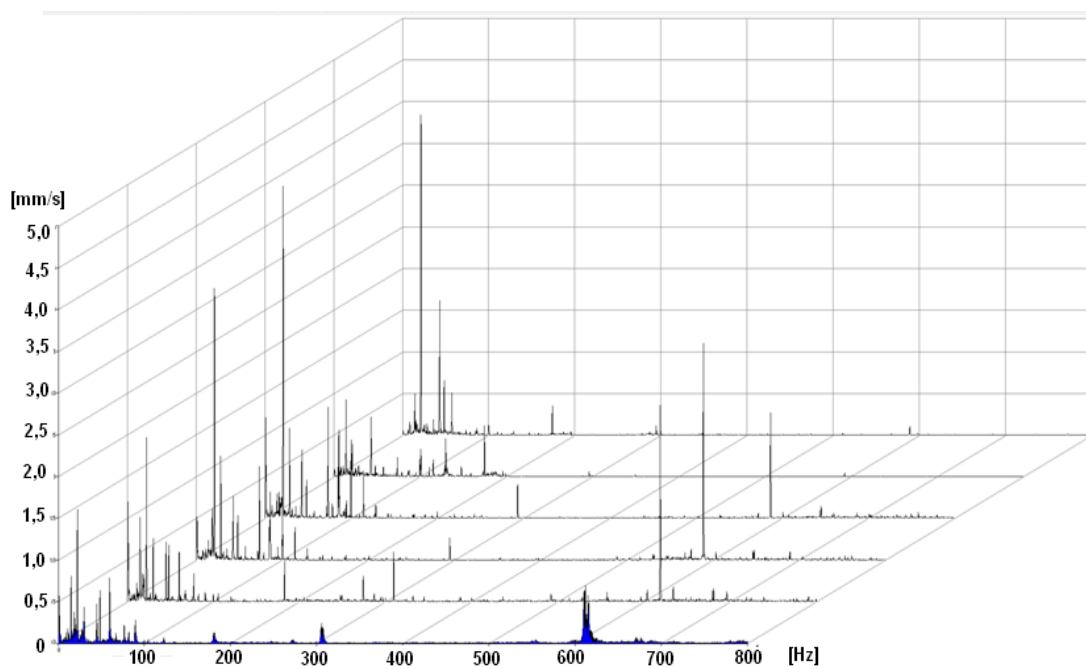
Obr. 55 Frekvenčné spektrum z vertikálneho smeru meraného bodu 4



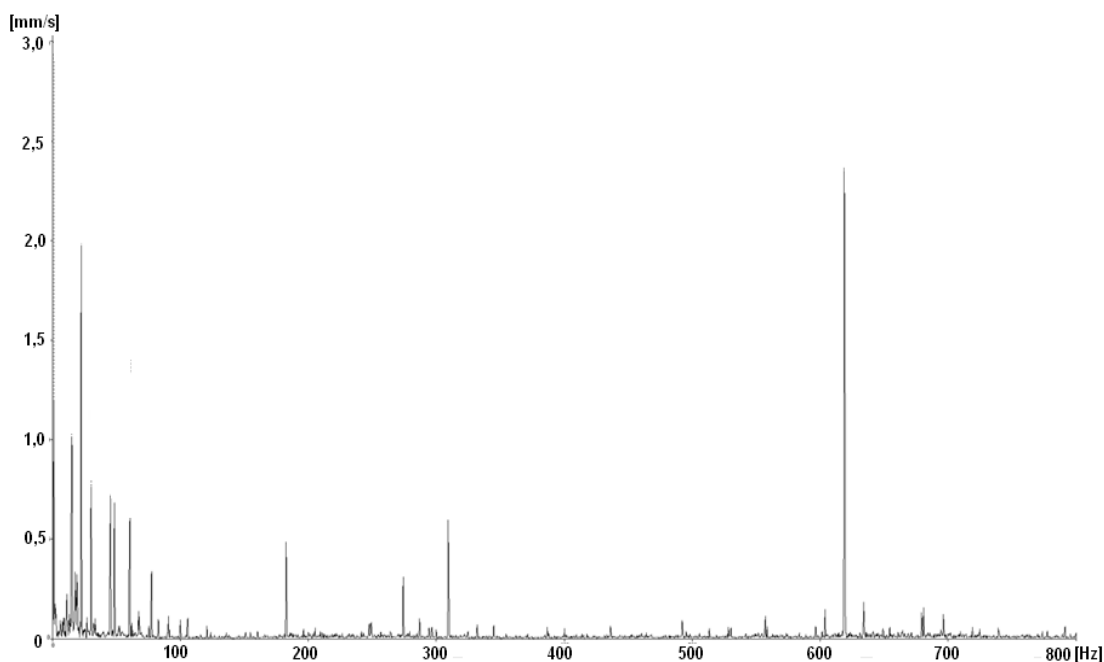
Obr. 56 Frekvenčné spektrum všetkých meraných bodov z horizontálneho smeru



Obr. 57 Frekvenčné spektrum z horizontálneho smeru meraného bodu 4



Obr. 58 Frekvenčné spektrum všetkých meraných bodov z axiálneho smeru



Obr. 59 Frekvenčné spektrum z axiálneho smeru meraného bodu 4

Zo zobrazených frekvenčných spektier v jednotlivých smeroch môžeme vidieť, že sú budené vysoké amplitúdy. Tieto amplitúdy sú spôsobené nevyváženosťou a excentricitou remeníc. Excentrické remenice spôsobujú vysoké vibrácie na otáčkovej frekvencii. Amplitúda je najvyššia v smere remeňov a ukazuje sa na ložiskách hnacej a hnanej časti. V dôsledku nevyváženosti sa amplitúda mení s štvorcom otáčkovej frekvencie pod prvom kritickou otáčkovou frekvenciou. Spôsobuje vysoké axiálne vibrácie spolu s radiálnymi. Silová nevyváženosť môže byť korigovaná umiestnením len jedného vyvažovacieho korekčného závažia v jednej rovine v ktorej je ťažisko rotora. U momentovej nevyváženosti korekcia vyžaduje umiestnenie vyvažovacích závaží najmenej v dvoch rovinách. Excentricitu remenice je niekedy možné vyvážiť tak, že sa dajú podložky pod skrutky. Avšak aj u vyváženej remenice excentricita bude ešte stále budiť vibrácie a striedavé únavové napätia v remeni.

5.3 Tribodiagnostika

Na mazanie trecích dvojíc kompresorov pre chladiace zariadenia nie sú vhodné konvenčné mazacie oleje, ktoré sa nachádzajú na trhu pre iné stroje ako chladiace zariadenia, hlavne v dôsledku nedostatočnej miešanosti s chladivom. Z tohto dôvodu sa musia použiť špeciálne oleje pre chladiacu techniku. Tieto mazacie oleje sú vystavované účinkom kvapalného a plynného chladivá. Skrutkový kompresor má pracovné rotory, ktoré nemajú kovový kontakt a utesnenie stlačeného chladivá medzi rotormi a taktiež oproti stenám skrine skrutkového kompresora sa dosahuje olejom. Po skončení nasávacieho procesu, počas kompresie sa uskutočňuje vstrekovanie oleja, vstrekovacou dýzou. Prednosťou decentralizovaného usporiadania okruhu oleja je taktiež jednoduché a prevádzkovo bezpečné konštrukčné zhotovenie paralelných zariadení. To znamená, že na jeden odlučovač oleja sa môžu pripojiť viaceré skrutkové kompresory, ku ktorým je nadimenzované jedno vstrekovacie potrubie, pričom môže byť rozdielny sací tlak jednotlivých skrutkových kompresorov. [13]

5.3.1 Odber vzoriek

Analýza kompresorového oleja bola prevedená na kompresoroch typu SEC – 750 VARIO, ATMOS SE440 a HV 75. Vzorky boli odobrané tak, aby predstavovali priemerné zloženie oleja v zariadení. Z dôvodu dokonalého premiešania a ohriatia oleja, bol olej odobraný tesne po prevádzke. Vzorky boli odobrané do čistých vzorkovníc o obsahu 300 ml a predané na rozbor. Hodnotili sa fyzikálne - chemické parametre ako: kinematická viskozita, bod vzplanutia, obsah vody, číslo kyslosti, obsah nečistôt, trieda čistoty a veľkosti nečistôt. Zo zariadení ATMOS SE440 a SEC – 750 VARIO sa odoberal olej typu CORENA D46. Jedna sa o minerálny olej pre vzduchové, skrutkové a lamelové kompresory. Vhodný najmä pre mazanie vzduchových kompresorov, ktoré vyžadujú oleje s dobrou odlučiteľnosťou vody. Z kompresora HV 75 bol odobraný kompresorový olej typu Fluid Force 2000. Tento kompresorový olej je určený na splnenie požiadaviek pre lamelové kompresory, kde garantuje dlhú životnosť. [13]

5.3.2 Výsledky analýz

Tab. 22 Výsledky analýzy kompresorového oleja skrutkového kompresora ATMOS SE440

Základné akostné parametre	Výsledok	Jednotky	Skúšobná metóda
Kinematická viskozita pri 40 stupňoch	46,94	mm ² /s	ČSN 656216
Bod vzplanutia	212	°C	ČSN 656212
Obsah vody	51	mg/kg	EN ISO 12 937
Číslo kyslosti	0,28	mgKOH/g	Metodika TRIFO 3
Obsah nečistôt ISO	18/15		ČSN 656206 ISO 4406/87
NAS	10		NAS 1638 ISO 11218
Veľkosť nečistôt	5 µm 15 µm 30 µm	1452 184 29	

Vzorka oleja zo skrutkového kompresora preukázala, že olej je celkovo v dobrom technickom stave. Kinematická viskozita sa mierne zvyšuje čo môže byť spôsobené medziproduktmi oxidačnej povahy, prípadne znečistením kondenzačnými produktmi. Bod vzplanutia preukázal teplotu 212 °C. Dá sa teda konštatovať, že množstvo nahromadených pár vzorky neprekročilo prípustnú hladinu. Číslo kyslosti taktiež neprekračuje dovolenú toleranciu. Podľa normy ISO 4406 sa hodnoty obsahu nečistôt, triedy čistoty NAS a aj veľkosti nečistôt nachádzajú v pásme bezpečnej prevádzky.

Tab. 23 Výsledky analýzy kompresorového oleja skrutkového kompresora SEC - 750 Vario

Základné akostné parametre	Výsledok	Jednotky	Skúšobná metóda
Kinematická viskozita pri 40 stupňoch	45,11	mm ² /s	ČSN 656216
Bod vzplanutia	210	°C	ČSN 656212
Obsah vody	59	mg/kg	EN ISO 12 937
Číslo kyslosti	0,55	mgKOH/g	Metodika TRIFO 3
Obsah nečistôt ISO	17/14		ČSN 656206 ISO 4406/87
NAS	9		NAS 1638 ISO 11218
Veľkosť nečistôt	5 µm 15 µm 30 µm	956 122 19	

Tak ako u predošlého skrutkového kompresora tak aj u kompresora SEC – 750 VARIO analýza preukázala dobre fyzikálne – chemické vlastnosti oleja. Kinematická viskozita je mierne poklesnutá, to môže byť spôsobené tepelnou alebo mechanickou degradáciou aditív. Bod vzplanutia je 210 °C, čiže tak tiež ako u kompresora ATMOS SE440 množstvo nahromadených pár neprekročilo prípustnú hodnotu. Obsah nečistôt, veľkosť nečistôt a triedu čistoty NAS norma zaradzuje opäť do zóny bezpečnej prevádzky.

Tab. 24 Výsledky analýzy kompresorového oleja lamelového kompresora HV75

Základné akostné parametre		Výsledok	Jednotky	Skúšobná metóda
Kinematická viskozita pri 40 stupňoch		143,7	mm ² /s	ČSN 656216
Bod vzplanutia		236	°C	ČSN 656212
Obsah vody		54	mg/kg	EN ISO 12 937
Číslo kyslosti		0,57	mgKOH/g	Metodika TRIFO 3
Obsah nečistôt ISO		18/15		ČSN 656206 ISO 4406/87
NAS		10		NAS 1638 ISO 11218
Veľkosť nečistôt	5 µm	1 606		
	15 µm	204		
	30 µm	32		

Ako u skrutkových kompresorov tak aj analýza oleja Fluid Force 2000 z lamelového kompresora HV 75 dopadla dobre. Viskozita ma mierny pokles čo môže byť zase spôsobené tepelnou alebo mechanickou degradáciou aditív. Ostatné hodnoty norma ISO 4406 zaradzuje, tak ako predošlé vzorky, do pásma bezpečnej prevádzky zariadení.

6 Návrh on-line systému pre kompresorovú stanicu Bochemie a.s.

Na základe požiadavku zníženia nákladov na údržbu prechodom z preventívnej údržby stanovenými intervalmi (motohodiny) k preventívnej údržbe podľa stavu zisteného priebežne on-line meraním kľúčových charakteristík strojov predkladám nasledujúcu cenovú ponuku. Nižšie uvedená tabuľka obsahuje kompletnú cenu za dodaný systém a zariadenie vrátane inštalácie a sprevádzkovanie systému A3600.

Tab. 25 On-line A3600

Označenie	Popis	Cena za MJ	Počet	Konečná cena
A 3600 Main Pro	Hlavný modul rady 3600 Pro	44 478 Kč	1	44 478 Kč
A 3600 MPX	Multiplexer 8 kanálov	28 859 Kč	2	57 718 Kč
A 3600 COM/DATA	Komunikačný modul pre prenos dát	17 876 Kč	1	17 876 Kč
A 3600 LAN	Modul pre pripojenie k Ethernetu	29 751 Kč	1	29 751 Kč
A 3600 PWR 230	Napájací zdroj 230V pre systém 3600	4 545 Kč	1	4 545 Kč
1110/10m	Kábel 10m ku snímaču pre on-line MIL2-22TE2T14-VK	3 906 Kč	15	58 590 Kč
1300 - 102	Snímač zrýchlení 100mV/g (AS784A/AC102)-horný vývod	6 075 Kč	15	91 125 Kč
A 3600 Box	Skriňa a vnútorné zapojenie	9 820 Kč	1	9 820 Kč
	Kábel	89 Kč	350	31 150 Kč
	Chránička	89 Kč	150	13 350 Kč
	Inštalácia meracieho systému	48 800 Kč	1	48 800 Kč
1109*	Lepidlo na podložky	980 Kč	1	980 Kč
1100	Podložka štandardná d=25 v=10 s plastovou krytkou	129 Kč	15	1 935 Kč
Celkom				410 118 Kč

Popis systému Adash 3600

On-line vibračný monitorovací systém Adash 3600 slúži k meraniu a vyhodnocovaniu mechanických vibrácií. Umožňuje vyhodnotenie statických i dynamických parametrov vibračného signálu a doplnkových prevádzkových veličín – teploty a otáčok. Je určený pre obecné všetky aplikácie týkajúce sa údržby a monitorovanie stavu strojov. [12]

Môže slúžiť ako:

- monitorovací systém skutočného stavu strojov,
- diagnostický a zabezpečovací systém strojov,
- subsystém rozsiahlejších systémov riadenia a kontroly.

Záver

Predložená diplomová práca sa zaoberá meraním a využívaním metód bezdemontážnej diagnostiky, konkrétne vibrodiagnostiky, tribodiagnostiky a termodiagnostiky, kde účelom bolo zistenie chovaní jednotlivých častí strojov a ich vzájomné porovnanie. V tejto diplomovej práci sme dospeli k nasledujúcim výsledkom. U skrutkového kompresora **ATMOS SE 440** sme namerali vysoké vibrácie vo všetkých smeroch. Vo vertikálnom smere bola na štvrtom meracom bode nameraná hodnota, ktorá dosahovala až 13,685 mm/s. U tohto kompresora sa veľká energia vibrácii prenáša aj v horizontálnom a axiálnom smere. Vibrácie v horizontálnom smere dosahujú až 7,259 mm/s, jedná sa opäť o tak veľké vibrácie, že môžu spôsobiť ďalšie poškodenie stroja. V axiálnom smere boli tiež namerané zvýšené hodnoty vibrácii. Ide hlavne o body jedna, tri a štyri kde vibrácie prekračujú 5,2 mm/s. Tieto vibrácie sú spôsobené nevyváženosťou a excentricitou remení. Lamelový kompresor typu **HV 75** má zvýšenú hodnotu vibrácii len vo vertikálnom smere a to v bode štyri. Toto môže byť spôsobené uvoľnenými skrutkami na rámu alebo závadou na konštrukcii zariadenia. Skrutkový kompresor **SEC – 750 VARIO** a lamelové kompresory **822** a **830 PUAS** sú vo výbornom stave. Termodiagnostické meranie, ktoré sme previedli na kompresoroch nevykazujú žiadne teplotné anomálie, tak tiež dobré výsledky priniesla analýza olejov. Vzhľadom k nepretržitej prevádzke kompresorov SEC – 750 VARIO, ATMOS SE440 a HV 75 doporučujem pravidelnú vibrodiagnostickú kontrolu každé 3 mesiace. Termodiagnostické merania stanoviť tak, aby sledovali rozdiely prevádzkových teplôt zariadení v chladných zimných mesiacoch a teplých letných mesiacoch. Ak by nebolo možné kontrolovať zariadenie v navrhovaných intervaloch či už z finančných alebo iných dôvodov, bolo by vhodné nainštalovať teplotné čidlá s vyhodnocovaním, aby sa dali priebežne kontrolovať vstupné a výstupné hodnoty teplôt olejových náplní. V diplomovej práci je návrh na on-line vibračný monitorovací systém Adash 3600, ktorý slúži k meraniu a vyhodnocovaniu mechanických vibrácii. Umožňuje vyhodnotenie statických i dynamických parametrov vibračného signálu a doplnkových prevádzkových veličín – teploty a otáčok.

Pod'akovanie

Predovšetkým by som chcel poďakovať svojim rodičom a blízkym za podporu pri štúdiu na vysokej škole. Veľká vďaka patrí doc. Ing. Františkovi Helebrantovi, CSc. a Ing. Jánovi Blatovi, Ph.D. za odbornú pomoc, cenné rady a poskytnuté podklady pri spracovaní diplomovej práce.

Použitá literatura

- [1] CHLUMSKÝ, V. a A. LIŠKA. *Kompresory*. SNTL. Praha 1: Technická literatura, 1982. ISBN 04-224-82
- [2] NOVOTNÝ, V. *Obsluha, údržba a opravy kompresoru*. ROH. Praha, 1957.
- [3] KOLARČÍK, K., J. KAMINSKÝ a O. PUMPRLA. *Kompresory*. 1.vydání. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2004. ISBN 80-248-0704-1.
- [4] OKompresorech: Rady, Tipy, Návody. *Http://www.okompresorech.cz/* [online]. 2009 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.okompresorech.cz/sroubovy-vzduchovy-kompresor/>
- [5] Techmagazín: Nejrychlejší spojení se světem průmyslové techniky. *Http://www.techmagazin.cz/* [online]. 2010 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/>
- [6] Stroje a zařízení: kompresory. *Http://eamos.pf.jcu.cz/* [online]. 2002 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kat_fyz/modules/low/kurz_text.php?identifik=kat_fyz_7356_t&id_kurz=&id_kap=16&id_teach=&kod_kurzu=kat_fyz_7356&id_kap=16&id_set_test=&search=&kat=&startpos=5
- [7] Technika stlačeného vzduchu. *Http://www.dls.cz/* [online]. [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.dls.cz/web/kompresory/princip-rotacnich-lamelovych-kompresoru>
- [8] Tibbis: kompresory. *Http://www.tibbis.cz/* [online]. [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.tibbis.cz/rotacni-lamelove-kompresory-hydrovane/>
- [9] Späť k základom. *Http://sk.scribd.com/* [online]. [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://sk.scribd.com/doc/77002245/4-16-Skrutkove-kompresoryfinal>
- [10] HELEBRANT F., ZIEGLER J. (2006): *Technická diagnostika a spolehlivost II. Vibrodiagnostika*. 1. vydání. Vysoká škola Báňská - technická univerzita Ostrava. Studijní text. ISBN 80-7044-814-8
- [11] STUDENÝ M. (2009): *Animace tvarů kmitů provozních vibrací osobního auta*. Ostrava. Diplomová práce na Strojní fakultě vysoké školy Báňské na katedře výrobních strojů a konstruování. Vedoucí diplomové práce doc. Dr. Ing. Pavel Němeček.
- [12] Adash [online]. [citováno 14.dubna 2011]. Dostupné z WWW: <[http:// www.adash.cz](http://www.adash.cz)>

- [13] BLAŠKOVIČ, P. – BALLA, J. – DZIMKO, M. : Tribológia. ALFA Bratislava 1990, 360 s.
- [14] KADLEC, Z: *Termomechanika: návody do cvičení*. 2. vyd., Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, 98 s. ISBN 978-80-248-1736-1
- [15] Lami kappa: Vibrodiagnostika. *Http://www.lamikappa.cz/* [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: *http://www.lamikappa.cz/vibrodiagnostika-2/*
- [16] Podklady Bochemie, a.s.

Zoznam obrázkov

Obr. 1 Dispečerský diagram kompresorovej stanice	12
Obr. 2 Schéma kompresorovej stanice firmy Bochemie a.s.	13
Obr. 3 Pracovný dej skrutkových kompresorov	15
Obr. 4 Schéma skrutkového kompresoru SE440VARIO	16
Obr. 5 Princíp lamelového kompresora	17
Obr. 6 Schéma lamelového kompresora.....	18
Obr. 7 Technický popis adsorpčnej sušičky – pohľad spredu	22
Obr. 8 Technický popis adsorpčnej sušičky – pohľad zozadu	22
Obr. 9 Schéma kompresora SEC -750 VARIO.....	24
Obr. 10 Meracie body na elektromotore a kompresore	25
Obr. 11 Frekvenčné spektrum a kaskáda spektier FFT rýchlosti vibrácií	25
Obr. 12 Frekvenčné spektrum a kaskáda spektier FFT zrýchlenia vibrácií	26
Obr. 13 Frekvenčné spektrum, kaskáda a trend hodnôt FFT rýchlosti vibrácií	27
Obr. 14 Frekvenčné spektrum, kaskáda a trend hodnôt FFT zrýchlenia vibrácií.....	27
Obr. 15 Schéma kompresora HV 75 Hydrovane	29
Obr. 16 Meracie body na elektromotore a kompresore	29
Obr. 17 Frekvenčné spektrum a kaskáda spektier FFT rýchlosti vibrácií	30
Obr. 18 Frekvenčné spektrum a kaskáda spektier FFT zrýchlení vibrácií.....	30
Obr. 19 Frekvenčné spektrum, kaskáda a trend hodnôt FFT rýchlosti vibrácií	31
Obr. 20 Frekvenčné spektrum, kaskáda a trend hodnôt FFT zrýchlení vibrácií.....	32
Obr. 21 Schéma kompresora ATMOS SE440	33
Obr. 22 Meracie body na elektromotore a kompresore	34

Obr. 23 Frekvenčné spektrum a kaskáda spektier FFT rýchlosti vibrácií	34
Obr. 24 Kaskádový diagram FFT zrýchlení vibrácií	35
Obr. 25 Spektrum, kaskáda a trend hodnôt FFT rýchlosti vibrácií	36
Obr. 26 Frekvenčné spektrum, kaskáda a trend hodnôt FFT zrýchlení vibrácií.....	36
Obr. 27 Prevádzkové veličiny kompresorovne.....	41
Obr. 28 Výkonnosť kompresora K1.....	41
Obr. 29 Výkonnosť kompresora K2.....	42
Obr. 30 Výkonnosť kompresora K3.....	42
Obr. 31 Výkonnosť kompresora K4.....	42
Obr. 32 Výkonnosť kompresora K5.....	43
Obr. 33 Štartovací prúd v ampéroch.....	46
Obr. 34 Zľava štart na prvé vinutie, pripnutie druhého vinutia v zapojení hviezda s prepnutím do trojuholníka	47
Obr. 35 Zníženie prúdového odberu pri rozbehu odľahčeného kompresora s rozdeleným vinutím po pripojení prvého a druhého vinutia	47
Obr. 36 Schéma skrutkového kompresora so znázornením vstupného a výstupného kanála a posúvačov, pomocou ktorých sa reguluje výkon kompresora	50
Obr. 37 Konštrukčné riešenie regulácie malého a stredného výkonu skrutkového kompresora pomocou riadiacich piestov	51
Obr. 38 Schéma regulácie dopravovaného množstva pomocou riadiaceho posúvača	51
Obr. 39 Regulácia chladiaceho výkonu posúvačom	52
Obr. 40 Naľavo priebeh teploty reguláciou ON/OFF. Napravo s regulovanými otáčkami kompresora.....	54
Obr. 41 Naľavo regulácia výkonu pripájaním kompresorov. Napravo aj s regulovanými otáčkami.....	54
Obr. 42 Termogram - motorová časť	59
Obr. 43 Termogram – kompresorová časť	59

Obr. 44 Termogram - motorová časť	60
Obr. 45 Termogram – kompresorová časť	60
Obr. 46 Termogram - motorová časť	61
Obr. 47 Termogram – kompresorová časť	61
Obr. 48 Analyzátor Adash A4400-VA4Pro [17].....	63
Obr. 49 Miesta snímania vibrácií kompresora 822 PUAS	64
Obr. 50 Miesta snímania vibrácií kompresora 830 PUAS	64
Obr. 51 Porovnanie RMS vo vertikálnom smere	66
Obr. 52 Porovnanie RMS vo horizontálnom smere.....	66
Obr. 53 Porovnanie RMS v axiálnom smere	66
Obr. 54 Frekvenčné spektrum všetkých meraných bodov z vertikálneho smeru	67
Obr. 55 Frekvenčné spektrum z vertikálneho smeru meraného bodu 4.....	68
Obr. 56 Frekvenčné spektrum všetkých meraných bodov z horizontálneho smeru	68
Obr. 57 Frekvenčné spektrum z horizontálneho smeru meraného bodu 4	69
Obr. 58 Frekvenčné spektrum všetkých meraných bodov z axiálneho smeru	69
Obr. 59 Frekvenčné spektrum z axiálneho smeru meraného bodu 4	70

Zoznam tabuliek

Tab.1 Parametre skrutkového kompresora SEC -750 VARIO.....	24
Tab.2 Hodnotenie technického stavu strojného zariadenia	26
Tab.3 Hodnotenie technického stavu strojného zariadenia	28
Tab.4 Parametre skrutkového kompresora HV 75 Hydrovane	28
Tab.5 Hodnotenie technického stavu strojného zariadenia	31

Tab.6 Hodnotenie technického stavu strojného zariadenia	32
Tab.7 Parametre skrutkového kompresora ATMOS SE440	33
Tab.8 Hodnotenie technického stavu strojného zariadenia	35
Tab.9 Hodnotenie technického stavu strojného zariadenia	37
Tab.10 Základné parametre kompresorov - lamelové	38
Tab.11 Základné parametre kompresorov - skrutkové	38
Tab.12 Parametre adsorpčných sušičiek	38
Tab.13 Merané hodnoty	39
Tab.14 Tabuľka objemov jednotlivých komponentov	39
Tab.15 Spotreba elektrickej energie kompresora K1	44
Tab.16 Spotreba elektrickej energie kompresora K2	44
Tab.17 Spotreba elektrickej energie kompresora K3	44
Tab.18 Spotreba elektrickej energie kompresora K4	44
Tab.19 Spotreba elektrickej energie kompresora K5	44
Tab. 20 Porovnanie rôznych druhov regulácie vzhľadom na potrebný príkon a účinnosť regulácie [9]	54
Tab. 21 Namerané hodnoty RMS.....	65
Tab. 22 Výsledky analýzy kompresorového oleja skrutkového kompresora ATMOS SE440	72
Tab. 23 Výsledky analýzy kompresorového oleja skrutkového kompresora SEC - 750 Vario.....	72
Tab. 24 Výsledky analýzy kompresorového oleja lamelového kompresora HV75	73
Tab. 25 On-line A3600	74